



**Escola Politècnica Superior  
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# **PROJECTE DE FI DE CARRERA**

**TÍTOL DEL PFC:** Estudi del consum energètic relatiu a la gestió de la mobilitat i el trànsit broadcast i multicast en xarxes WiFi

**TITULACIÓ:** Enginyeria de Telecomunicació (segon cicle)

**AUTOR:** Ignasi Blanco Sastre

**DIRECTOR:** Rafael Vidal Ferré

**DATA:** 3 de Maig de 2010

**Títol:** Estudi del consum energètic relatiu a la gestió de la mobilitat en xarxes Wifi i el trànsit broadcast i multicast en xarxes WiFi

**Autor:** Ignasi Blanco Sastre

**Director:** Rafael Vidal Ferré

**Data:** 3 de Maig de 2010

## Resum

Les xarxes sense fils WiFi basades en l'estàndard IEEE802.11 són la tecnologia dominant a les xarxes locals sense fils, denominades WLAN. Dispositius com portàtils, *netbooks*, consoles de jocs, telèfons VoIP, PDAs, o telèfons mòbils duals utilitzen aquesta tecnologia. Gràcies a les millores tècniques aconseguides al camp de les bateries i a la eficiència energètica dels elements *hardware* (pantalla, disc dur, sistemes de refrigeració actius, ...), el consum de la interfície WLAN és poc rellevant per la seva autonomia en dispositius "grans" com ara portàtils o *netbooks*. Per contra, en dispositius "petits", com PDAs o telèfons, l'activitat de la interfície WLAN redueix considerablement la vida de les bateries. Es pretén estudiar empíricament l'impacte energètic de la interfície WLAN, amb tot el que això significa des del punt de vista de la gestió de la mobilitat. Per poder analitzar aquests aspectes relatius a la mobilitat, en base a models numèrics que permetin aproximar aquests consums.

En aquest sentit, la motivació inicial d'aquest PFC, és conèixer els mecanismes d'estalvi d'energia existents per aquest escenari, i el consum derivat dels processos de gestió de la mobilitat; un traspàs, una re-associació, l'adquisició o formació d'una adreça IP, la recepció de trames de gestió i manteniment de la xarxa. També ens fixem en el consum associat a la recepció de serveis de difusió de dades *broadcast* o *multicast* (B/M).

En primer lloc, s'han identificat els consums específics dels processos i del trànsit B/M, mitjançant mesures empíriques en STAs que implementin mecanismes d'estalvi d'energia. Seguidament, s'ha caracteritzat els factors que determinen el cost energètic, per finalment definir un model de consum general d'acord amb les mesures empíriques. Que permet predir l'energia consumida de les interfícies WLAN, a partir de les especificacions de consum.

**Title:** Study of power consumption relative to the mobility management and multicast and broadcast traffic on WiFi networks

**Author:** Ignasi Blanco Sastre

**Director:** Rafael Vidal Ferré

**Date:** March, 3rd 2010

## Overview

In recent years, WiFi wireless networks based on IEEE802.11 standard is the dominant technology in wireless local area networks (WLAN). Devices such as laptops, netbooks, video game consoles, VoIP phones, PDAs, smart phones use this technology. Thanks to technical improvements achieved in the field of batteries and energy efficiency of hardware components (screen, hard drive, active cooling systems, ...), the consumption of WLAN interface is not relevant for autonomy in these "big" devices such as laptops or netbooks. In contrast, "small" devices such as PDAs or phones, the activity of the WLAN interface significantly reduces battery lifetime. It aims to study empirically the impact energy of the WLAN interface. To analyze the aspects of mobility management, based on numerical models that allow predict the power consumption.

In this sense, the initial motivation of this PFC, is to understand the power save mode available for this scenario, and consumption is derived from the specific processes of mobility management: a handover, a re-association, the acquisition or formation of an IP address. And consumption associated with reception of broadcasting services broadcast or multicast data (B/M), or broadcast management frames.

First, we have identified the power consumption of specific processes and traffic B/M, using empirical measures in STAs that implement power save mode. Then, we have characterized the factors that determine energy cost, and finally we have define a general model of consumption in accordance with the empirical measures. Which predicts the energy consumption of WLAN interfaces, from power consumption specifications.

Primerament donar les gràcies al director del PFC, en Rafael Vidal, pel seu suport i ajuda en la resolució de tots els problemes que han anat sorgint, així com l'esforç i el temps dedicat. També voldria agrair la col·laboració de n'Eduard Garcia, les seves aportacions han estat de gran ajuda.



# ÍNDEX

<b>INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTOL 1. MECANISMES IEEE802.11 PER REDUIR EL CONSUM .....</b>	<b>5</b>
1.1 IEEE 802.11 Power Save Mode (PSM) .....	5
1.2 IEEE 802.11e Unscheduled Automatic Power Save Delivery (U-APSD) ..	7
1.3 IEEE 802.11v Flexible Broadcast / Multicast Service (FBMS) .....	9
1.4 IEEE 802.11n Power Save Multi-Poll (PSMP) .....	10
<b>CAPÍTOL 2. ANÀLISI DEL TRÀNSIT B/M .....</b>	<b>11</b>
2.1 Anàlisi de les subxarxes de l'EPSC .....	11
2.1.1 Subxarxa 147.83.113.0/24 .....	11
2.1.2 Subxarxa 147.83.118.0/24 .....	13
2.2 Anàlisi de la xarxa sense fils <i>eduroam-web / eduroam</i> .....	16
<b>CAPÍTOL 3. MECANISMES PER A REDUIR EL TRÀNSIT B/M .....</b>	<b>17</b>
3.1 Proxy ARP .....	17
3.2 Solucions propietàries .....	17
3.2.1 Servidor DHCP .....	19
3.2.2 Proxy ARP .....	19
3.2.3 Gestió de trànsit <i>multicast</i> .....	19
3.2.4 Punts d'accés Cisco <i>Aironet</i> .....	21
<b>CAPÍTOL 4. MESURES EMPÍRIQUES DE CONSUM .....</b>	<b>23</b>
4.1 Escenari de proves .....	23
4.2 Mesures bàsiques de la gestió de la mobilitat .....	24
4.2.1 Interfície STA 1 .....	24
4.2.2 Interfície STA 2 .....	31
4.3 Mesures de consum del trànsit B/M .....	34
4.3.1 Consum del tràfic <i>broadcast</i> (ARP) .....	34
4.3.2 Consum de trànsit <i>multicast</i> .....	38
<b>CAPÍTOL 5. ESTUDI DELS VALORS EMPÍRICS DE CONSUM .....</b>	<b>41</b>
5.1 Estudi del consum de les dues STAs .....	41
5.1.1 Portàtil (STA 1) .....	41
5.1.2 Telèfon dual (STA 2) .....	42
5.1.3 Estudi comparatiu de les dues interfícies .....	43
5.2 Consum associat a la connectivitat .....	44
5.3 Impacte en el consum del trànsit <i>broadcast</i> ARP .....	45
5.4 Resum de consums dels processos de gestió de la mobilitat i trànsit ARP ....	47

<b>CAPÍTOL 6. MODEL DE CONSUM PER TRÀNSIT ARP .....</b>	<b>49</b>
6.1 Estudis relacionats .....	49
6.2 Anàlisi dels paràmetres comuns .....	49
6.3 Interfície STA 1 .....	51
6.4 Interfície STA 2 .....	53
6.5 Generalització del model de consum per trànsit ARP .....	55
6.6 Aplicació i contrastació del model .....	58
 <b>CAPÍTOL 7. CONSUM ASSOCIAT A LA GESTIÓ DE LA MOBILITAT .....</b>	<b>61</b>
7.1 Modelat de la gestió de la mobilitat .....	61
7.1.1 Traspassos .....	63
7.1.2 Re-associacions .....	64
7.2 Comparació dels consums de mobilitat i trànsit ARP .....	65
 <b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>67</b>
8.1 Fases del projecte i resultats obtinguts .....	67
8.2 Línies futures .....	69
8.3 Impacte mediambiental del projecte .....	69
 <b>REFERÈNCIES .....</b>	<b>71</b>

# ÍNDIX DE FIGURES

Fig. 1.1 Operació de la gestió d'energia (PSM) amb infraestructura .....	7
Fig. 1.2 PSM vs U-APSD .....	8
Fig. 1.3 PSM vs FBMS .....	9
Fig. 2.1 Distribució del volum relatiu de trànsit del protocols <i>multicast</i> i <i>broadcast</i> ..	12
Fig. 2.2 Temps mitjà entre arribades de paquets <i>multicast</i> o <i>broadcast</i> .....	13
Fig. 2.3 Distribució del volum relatiu de trànsit del protocols <i>multicast</i> i <i>broadcast</i> ..	14
Fig. 2.4 Temps mitjà entre arribades. ....	15
Fig. 3.1 Comportament per defecte del trànsit B/M a WLC .....	18
Fig. 3.2 Comanda via GUI, per activar el mode de transmissió multicast .....	20
Fig. 4.1 Escenari de proves .....	23
Fig. 4.2 <i>Beacon</i> STA 1 .....	25
Fig. 4.3 Procés d'escaneig complet de la STA 1 .....	26
Fig. 4.4 (a) Consum dels missatge <i>Probe Request</i> , (b) Consum del missatge <i>Probe Response</i> , de la STA 1 .....	27
Fig. 4.5 Procés d'associació de la STA 1 .....	27
Fig. 4.6 Procés de re associació de la STA 1 .....	28
Fig. 4.7 (a) Consum del missatge <i>Router Advertisement</i> , (b) consum del missatge multicast <i>Neighbour Solicitation</i> , a STA 1 .....	29
Fig. 4.8 Intercanvi de missatges entre client i servidor DHCPv6 .....	30
Fig. 4.9 Consum de obtenció IPv6 amb DHCPv6.....	30
Fig. 4.10 <i>Beacon</i> STA 2.....	31
Fig. 4.11 Consum escaneig actiu de la STA 2.....	32
Fig. 4.12 Detall del consum del canal 1 .....	33
Fig. 4.13 Procés d'associació de la STA 2 .....	33
Fig. 4.14 Comparació dels consums del període DTIM entre les dues STAs .....	35
Fig. 4.15 Període de DTIM amb la petició i resposta d'ARP de la STA 1.....	36
Fig. 4.16 <i>Beacon</i> amb petició ARP i resposta ARP de la STA 2 .....	37
Fig. 4.17 Consum del trànsit multicast a la interfície de la STA 1 .....	38
Fig. 5.1 Comparació entre STAs de la utilització de la bateria .....	43
Fig. 5.2 Cost energètic dels processos.....	44



<b>Fig. 5.3</b> Comparació entre mètodes d'obtenció d'adreça IPv6 .....	45
<b>Fig. 5.4</b> Reducció de la capacitat de la bateria en funció del trànsit ARP .....	45
<b>Fig. 5.5</b> Cost energètic degut a les peticions ARP .....	46
<b>Fig. 6.1</b> Període de lliurament (DTIM) de les peticions ARP .....	50
<b>Fig. 6.2</b> Consum del període DTIM de la STA 1 .....	51
<b>Fig. 6.3</b> Consum de la STA 1 en funció de la taxa de peticions ARP .....	52
<b>Fig. 6.4</b> Consum del període DTIM de la STA 2 .....	53
<b>Fig. 6.5</b> Consum de la STA 2 en funció de la taxa de peticions ARP .....	54
<b>Fig. 6.6</b> Comparació del consum de les dues interfícies amb els seus models .....	55
<b>Fig. 6.7</b> Esquema de consum del període DTIM .....	56
<b>Fig. 6.8</b> Comparació del consum entre les dues STAs, aplicant el mateix model ....	58
<b>Fig. 6.9</b> Comparació dels models per la interfície WLAN de la STA 1 .....	59
<b>Fig. 6.10</b> Consum de dues interfícies WLAN comercials.....	60
<b>Fig. 7.1</b> Cost energètic en funció dels processos de traspàs per hora, a la STA 1 ..	63
<b>Fig. 7.2</b> Cost energètic en funció de les re-associacions per hora, a la STA 1 .....	64
<b>Fig. 7.3</b> Cost energètic de la taxa de peticions ARP/DTIM durant una hora .....	65

# ÍNDIX DE TAULES

<b>Taula 4.1</b>	Consums màxims, Linksys WUSB600N.....	24
<b>Taula 4.2</b>	Consum mitjà de la STA 1 associada sense trànsit. ....	25
<b>Taula 4.3</b>	Fases del procés de re-associació de la STA 1 .....	28
<b>Taula 4.4</b>	Fases del procés de re-associació de la STA 2 .....	34
<b>Taula 5.1</b>	Consum bàsic de la interfície de la STA 1 .....	41
<b>Taula 5.2</b>	Impacte de la interfície WLAN sobre la bateria de la STA 1.....	42
<b>Taula 5.3</b>	Consum bàsic de la interfície de la STA 2.....	42
<b>Taula 5.4</b>	Impacte de la interfície WLAN sobre la bateria de la STA 2.....	43
<b>Taula 5.5</b>	Resum dels costos energètics.....	47
<b>Taula 6.1</b>	Mapatge del valor $v$ i les velocitats físiques més habituals .....	57
<b>Taula 7.1</b>	Cost energètic dels processos de gestió de la mobilitat.....	62



## INTRODUCCIÓ

Les xarxes sense fils WiFi basades en l'estàndard IEEE802.11 són la tecnologia dominant a les xarxes locals sense fils, denominades WLAN. Dispositius com portàtils, *netbooks*, consoles de jocs, telèfons VoIP, PDAs, o telèfons mòbils duals utilitzen aquesta tecnologia. Gràcies a les millores tècniques aconseguides al camp de les bateries i a la eficiència energètica dels elements *hardware* (pantalla, disc dur, sistemes de refrigeració actius, ...), el consum de la interfície WLAN és poc rellevant per la seva autonomia en dispositius "grans" com ara portàtils o *netbooks*. Per contra, en dispositius "petits", com PDAs o telèfons, l'activitat de la interfície WLAN redueix considerablement la vida de les bateries. És en aquest escenari en el que es desenvolupa aquest PFC, el dels dispositius "petits" amb bateries de capacitat reduïda. Es pretén estudiar empíricament l'impacte energètic de la interfície WLAN, amb tot el que això significa des del punt de vista de la gestió de la mobilitat. Per poder analitzar aquests aspectes relatius a la mobilitat, en base a models numèrics que permetin aproximar aquests consums.

En aquest sentit, la motivació inicial és conèixer els mecanismes d'estalvi d'energia existents per aquest escenari, i el consum derivat d'un seguit d'accions necessàries per a que un dispositiu mòbil associat a una WLAN (STA) es pugui moure sense perdre connectivitat; ja sigui un traspàs, una re-associació, l'adquisició o formació d'una adreça IP, la recepció de trames per la gestió i manteniment de la xarxa. També ens fixarem en el consum associat a la recepció de serveis de difusió de dades *broadcast* o *multicast* (B/M).

Els objectius d'aquest PFC són, en primer lloc, identificar els consums específics dels processos de gestió de la mobilitat i del trànsit B/M mitjançant mesures empíriques en STAs que implementin mecanismes d'estalvi d'energia. Seguidament, caracteritzar els factors que determinen el cost energètic, per finalment definir un model de consum general d'acord amb les mesures empíriques.

Al primer capítol s'exposen els mecanismes d'estalvi d'energia que defineix l'estàndard IEEE802.11 i les posteriors esmenes a l'estàndard. Mecanismes que permeten a les interfícies WLAN reduir el consum mentre no tenen activitat. Es descriu el funcionament general, les millores que introdueixen i el comportament en funció dels estats de baix consum i alt consum, degut a l'activitat de la xarxa o de la interfície WLAN. Es destaca l'impacte del trànsit B/M sobre l'efectivitat d'estalvi d'energia d'aquests mecanismes, ja que la difusió d'aquest trànsit l'haurà de rebre tota STA associada a un punt d'accés (AP).

Al segon capítol es presenta un de l'anàlisi estadístic del trànsit B/M de dues subxarxes IP, de la xarxa Ethernet de l'Escola Politècnica Superior de Castelldefels (EPSC) i les xarxes sense fils *eduroam* i *eduroam-web* dins el recinte de l'EPSC. Els resultats de l'anàlisi a les subxarxes fixes, ens

proporcionen informació dels tipus de protocols utilitzats i el seu pes, i la seva distribució temporal. Una de les conclusions importants és l'alta presència del protocol ARP [1]. A les xarxes sense fils, observem la pràctica inexistència de difusió de trames B/M. Fet que ens indueix a documentar-nos sobre les solucions comercials que possibiliten que aquestes xarxes funcionin sense aquest tipus de trànsit

A partir del coneixement de l'impacte del trànsit B/M sobre les STAs i l'estudi de la presència a les xarxes, al tercer capítol s'exposen mecanismes de gestió per poder reduir el trànsit B/M. Es descriuen mecanismes estàndards com el Proxy ARP, que permet resoldre adreces IP de peticions ARP sense difondre-les per tota la xarxa WLAN. A continuació es detalla una solució propietària de l'empresa *Cisco Systems*, implementada a les xarxes sense fils *eduroam* i *eduroam-web*. Està basada en una arquitectura de xarxa i implementació pròpia que evita per defecte la difusió de qualsevol tipus de trànsit B/M. Es tracte d'un disseny de xarxa sense fils unificada que basa el seu funcionament en un controlador que gestiona tot el trànsit B/M que reben o transmeten els APs. A més es descriuen mecanismes, implementats als APs d'aquesta empresa, com l'adaptació del Proxy ARP o la transmissió de trames de gestió IEEE802.11 per evitar processos a les STAs durant els traspassos i així estalviar energia.

Al quart capítol es centra amb les mesures de consum. Definim el consum mitjà com la intensitat de corrent mitjana (quantitat de càrrega neta utilitzada per unitat de temps), expressada amb les unitats del sistema internacional amperes (A) o submúltiples. Degut a que les bateries mantenen constant el nivell de voltatge a que alimenten les STAs i la capacitat d'aquestes s'especifica en mil·liamperes hora. S'han seleccionat dues STAs mòbils amb bateria i de característiques de consum diferents que permeten configurar els mecanismes d'estalvi d'energia de l'estàndard IEEE802.11. A partir d'un escenari de proves al laboratori, s'obtenen les variacions de la intensitat de corrent elèctric en funció de l'activitat de la interfície WLAN de la STA. D'aquesta manera les proves empíriques ens permeten identificar processos concrets, per determinar el consum i amb a partir del temps de cada procés, conèixer l'energia utilitzada o el cost energètic associat. Es descriuen tots els processos perquè una STA es pugui moure sense perdre connectivitat i la descripció dels comportaments d'estats de consum per determinar l'impacte del trànsit B/M. Tal com s'ha observat al segon capítol s'han centrat les mesures de trànsit *broadcast* en el protocol majoritari, el ja mencionat protocol ARP, i l'impacte de fluxes de trànsit *multicast* per diferents velocitats i modulacions.

Al cinquè capítol, es realitza un estudi dels resultats presentats. Es mostren els consum bases de les dues interfícies WLAN, i s'avalua l'impacte sobre les bateries amb els mecanismes d'estalvi d'energia. A més es calcula el cost energètic de cada procés i del trànsit ARP, per quantificar i comparar l'impacte de entre cadascun dels processos i recepció de peticions ARP.

Al sisè capítol, s'analitza el consum del trànsit ARP per obtenir un model analític que respongui al consum en funció de les peticions rebudes, corresponent a les característiques i comportaments de les dues interfícies

WLAN. Per determinar els factors claus i el comportament, i generalitzar el model a partir de les especificacions de consum de qualsevol interfície WLAN.

Al setè capítol, es modela l'energia coonsumida a la interfície WLAN en funció del conjunt de processos necessaris per donar connectivitat a una STA en una xarxa sense fils. S'estudia l'impacte energètic en funció de mobilitat de la STA, i es contextualitza aquesta despesa energètica en front els valors obtinguts en el model recepció de peticions ARP.

Finalment es presenten les conclusions, així com les línies futures del projecte per ampliar la recerca i obtenir nous resultats que permetin obtenir un model de consum general més complet.

La memòria es completa amb els annexes, on es recopila la informació complementaria referent a la metodologia de les proves empíriques i la configuració del maquinari i programari utilitzat. Oportunament referenciats als diferents capítols de la memòria.



## CAPÍTOL 1. MECANISMES IEEE802.11 PER REDUIR EL CONSUM

El grup de treball *IEEE802.11* per a xarxes sense fils d'àrea local, defineix a l'estàndard original com a protocol d'accés al canal de comunicació, l'accés múltiple amb escolta de portadora i evitament de col·lisió (CSMA/CA). Aquest protocol requereix, a la interfície de xarxa sense fils d'una STA IEEE802.11, escoltar el canal permanentment. Aquest comportament té un impacte important en el consum de la bateria. Per aquest motiu l'estàndard defineix mecanismes d'estalvi d'energia, per xarxes ad hoc i xarxes amb infraestructura. En aquest projecte només tractarem les xarxes amb infraestructura, per tant els mecanismes que es descriuen en aquest apartat fan referència a xarxes amb infraestructura.

Inicialment es va definir el *Power Save Mode* (PSM) [2] i posteriorment les noves esmenes a l'estàndard han introduït nous esquemes i protocols per millorar el comportament de les STA, aconseguint un estalvi d'energia més eficient i per tant, en la majoria d'escenaris possibles, reduir el consum de les STAs.

A continuació es descriuen breument, els mecanismes d'estalvi d'energia estandarditzats PSM [2] i el *Unscheduled Automatic Power Save Delivery* (U-APSD) [3], tractats a TFCs anteriors [4] i [5]. També d'altres solucions per l'estalvi d'energia més recents part de les noves esmenes a l'estàndard IEEE802.11, com ara *Flexible Broadcast / Multicast Service* (FBMS) [7] o el *Power Save Multi-Poll* (PSMP) [8] i [9].

### 1.1 IEEE 802.11 Power Save Mode (PSM)

El primer mecanisme defineix dues estats de la STA en funció del consum.

- L'estat despert o actiu (*awake*): Condició de la STA, on constantment està escoltant el canal i amb capacitat per poder rebre i transmetre les MSDUs<sup>1</sup>.
- L'estat adormit o dormisquejat (*sleep* o *doze*): Condició de molt baix consum de la STA durant els períodes que no transmeten ni es reben MSDUs. Aquest estat difereix de la desconexió de l'alimentació, ja que la STA passa de l'estat adormit al estat despert en poc temps (250µs).

Durant l'associació a un AP la STA indica l'ús del PSM. A cada STA, l'AP li assigna un codi de identificació d'associació únic (*Association IDentification*

---

<sup>1</sup> *Medium access control (MAC) service data units* – Unitat de dades de les trames a nivell d'enllaç.



*code*, AID) que forma part de la resposta a l'associació (trama *Association Response*). Quan la STA passa a l'estat adormit envia la trama *Power Save-Poll* (PS-Poll) amb el bit *Power Management*, del camp de *Flags*, a 1 i l'AP respon amb una trama de reconeixement ACK. A partir d'aquest moment totes les MSDUs dirigides a aquesta STA s'emmagatzemaran en un *buffer* individual a l'AP.

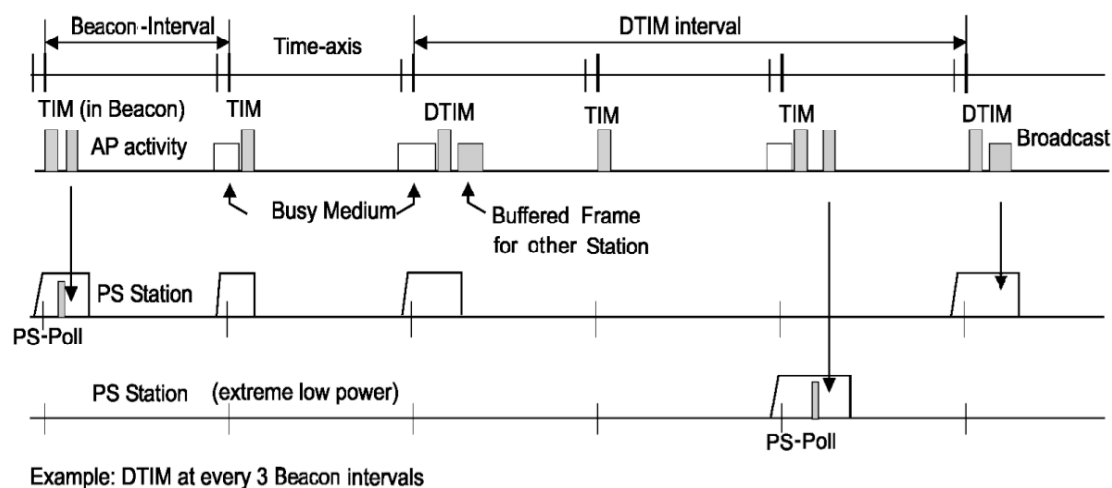
La STA escolta periòdicament la trama *beacon*, trama de gestió que transmet periòdicament l'AP. Aquest temps d'escolta el defineix els requeriments de la STA amb un interval d'escolta del canal (*Listen Interval*, LI) múltiple de l'interval de transmissió de *beacon* i l'habilitació del paràmetre *ReceiveDTIMs*<sup>2</sup>. A l'inici de LI la STA passarà de l'estat adormit a l'estat despert per rebre cada trama *beacon* i comprovar si als bits corresponents al camp de *Traffic Indication Map* (TIM) corresponen al seu AID. Si és així, la STA sabrà que té MSDUs pendents a rebre, i enviarà una trama PS-Poll a l'AP, amb el bit de *Power Management* a 0, indicant que està llesta per a rebre-les, i aleshores l'AP contestarà amb una trama ACK i les MSDUs. La STA tornarà a l'estat adormit al rebre l'última trama amb el bit *More Data* a 0. En cas de no trobar el seu AID al *bitmap* del camp de TIM, significa que no tenen MSDUs a descarregar i retornarà a l'estat adormit, reduint el consum energètic, just després de rebre la trama *beacon*.

El trànsit *Broadcast/Multicast* (B/M) s'emmagatzema a un *buffer* comú per totes les STAs. Encara que sols una STA tingui el mecanisme PSM activat, la transmissió a totes les STAs es durà a terme al mateix instant. El comportament el determinat per una part del camp TIM anomenat DTIM (*Delivery Traffic Indication Map*), aquesta part especifica un període o interval múltiple de l'interval de transmissió del *beacon* i la presència de MSDUs B/M. Les trames emmagatzemades al *buffer* B/M de l'AP, es transmetran a cada període DTIM, forçant totes les STAs amb el paràmetre *ReceiveDTIMs* a *true* a passar a l'estat despert. En cas que definir *ReceiveDTIMs* a *false*, la STA no passaria a estat despert a tots els períodes de DTIM.

A la Fig. 1.1 es mostra l'activitat de l'AP i dues STAs, on es defineix la transmissió del DTIM cada tres *beacons*. La primera línia representa eix temporal, amb les marques dels intervals de *beacon* i DTIM. La segona línia representa l'activitat de l'AP, indicant la transmissió dels *beacons* amb el camp TIM i DTIM, amb els casos particulars (marques blanques) on el canal es troba ocupat i endarrereix la transmissió programada del *beacon*. La tercera i la quarta línia representa l'activitat de dues STA's amb el mecanisme PSM activat i requeriments diferents. La STA de la tercera línia defineix el LI a 1 interval de *beacon* i el paràmetre *ReceiveDTIMs* a *true*. Es marca l'estat despert a cada interval de *beacon*, on al primer *beacon*, el camp TIM indica MSDUs per aquesta STA (*unicast*), la STA transmet una trama PS-Poll i es

<sup>2</sup> Paràmetre de la primitiva de la capa de gestió de la STA (MLME-POWERMGT.request). Primitiva corresponent a la petició de canvi de mode d'estalvi d'energia (activació i configuracions de PSM).

lliuren les MSDUs. A l'últim *beacon* amb DTIM, es realitza el lliurament de les MSDUs B/M. Cal notar que la STA de la quarta línia no rep trànsit B/M. Aquesta STA defineix el LI a intervals superiors a 4 *beacons* i el paràmetre *ReceiveDTIMs* a *false*. Per aquest motiu rep les MSDUs quan es desperta i el camp TIM indica que hi ha dades per aquesta STA, i no rep les MSDUs B/M a tots els DTIMs.



FONT: IEEE 802.11 WG. *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. IEEE Standard 802.11-2007

Fig. 1.1 Operació de la gestió d'energia (PSM) amb infraestructura

## 1.2 IEEE 802.11e Unscheduled Automatic Power Save Delivery (U-APSD)

Entre les especificacions de l'esmena IEEE 802.11e, inclosa a la revisió de l'estàndard IEEE 802.11 del 2007, per augmentar la qualitat de servei (QoS) es determina un nou mecanisme d'estalvi d'energia. Aquest mecanisme va ser adoptat per la *Wi-Fi<sup>TM</sup> Alliance* amb el certificat de *Wi-Fi Multimedia Power Save (WMM-PS<sup>TM</sup>)*.

El mecanisme incrementa el temps que la STA manté l'estat adormit i minimitza el nombre de trames que la STA ha d'enviar i rebre per obtenir el mateix nombre de trames emmagatzemades al *buffer* de l'AP. Es base amb la millora de la capa MAC de IEEE 802.11e, que defineix Hybrid Coordination Function (HCF) com a controlador dels dos mètodes d'accés al canal; *Enhanced Distributed Channel Access* (EDCA) i el *HCF Controlled Channel Access* (HCCA). L'EDCA s'utilitza durant les fases de la transmissió anomenades *Contention Period* (CP) i defineix quatre classes d'accés (AC), la veu (AC\_VO), al vídeo (AC\_VI), al *best effort* (AC\_BE) i al trànsit de *background* (AC\_BK), cadascuna amb els seus respectius *buffers*.



Els avantatges que ofereix respecte el PSM, exposats per són:

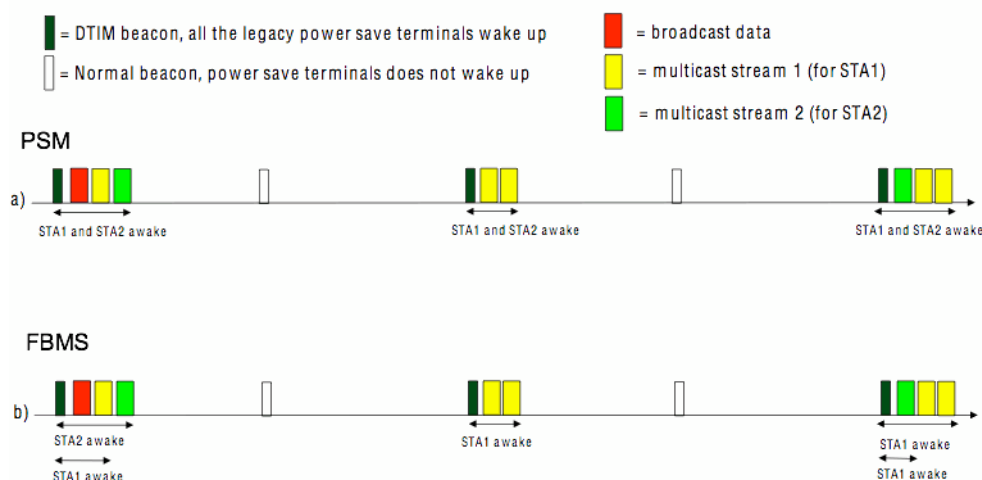
- Ofereix QoS, prioritzant el trànsit més sensible a la latència i al *jitter*.
- Reducció de la transmissió de trames de senyalització. Les trames de dades s'utilitzen també per a realitzar peticions.
- Reducció de les trames de senyalització per obtenir totes les dades emmagatzemades als buffers de l'AP.

Cal tenir en compte però, que no s'ofereix cap millora respecte el procediment de lliurament de trames B/M.

### 1.3 IEEE 802.11v Flexible Broadcast / Multicast Service (FBMS)

Per millorar l'eficiència del PSM en escenaris amb trànsit B/M, dintre l'esmena IEEE 802.11v de l'estàndard, encara per aprovar, s'inclou un servei de difusió flexible per l'estalvi d'energia a les STAs anomenat *Flexible Broadcast / Multicast Service* (FBMS). Es tracta d'un servei compatible amb el mecanisme PSM.

A cada fluxe B/M se li assignació un identificador (ID) i cada STA especifica a l'AP els fluxes B/M que li interessa rebre. El funcionament bàsic d'aquest mecanisme es basa amb la gestió de l'AP per assignar diferents múltiples del període DTIM a cada fluxe B/M. Com es pot observar a la Fig. 1.3 amb FBMS la STA 2 pot mantenir l'estat adormit durant períodes més llargs dels que defineix PSM, només passant a estat despert si, al període DTIM actual, es transmet un fluxe B/M que li interessa. L'AP manté l'estat de cadascun dels comptadors de DTIM de cada fluxe B/M i per l'últim paquet entregat a la STA, a diferència del PSM, s'indica el final del període de servei amb un bit, com a *End Of Service Period* (EOSP).



FONT: Nokia/Technology Platforms. WLAN: Current developments and future challenges.

Fig. 1.3 PSM vs FBMS

Tot i la millora de la disminució de trànsit B/M per les STAs, pot augmentar el retard de les dades respecte el mecanisme PSM.

## 1.4 IEEE 802.11n Power Save Multi-Poll (PSMP)

A l'esmena aprovada IEEE 802.11n - 2009 de l'estàndard IEEE 802.11 – 2007, es defineix un protocol d'estalvi d'energia anomenat *Power Save Multi-Poll* (PSMP), que no substitueix APSD sino que l'amplia. Aquest protocol pot ser programat (S-PSMP) i no programat (U-PSMP).

La principal idea de S-PSMP és establir períodes, durant el TXOP, submúltiples del període de DTIM, indicant a una o més STAs quan poden passar a estat despert per rebre les MSDUs B/M, i quan, individualment, poden començar a transmetre. Tot plegat, amb l'objectiu de maximitzar el temps que la STA ha de mantenir l'estat adormit.

Aquest mecanisme redueix l'impacte que del trànsit B/M no dirigit a una STA (*background*), causat per APs amb múltiples STAs associades. És a dir, la STA es manté en estat despert per rebre el trànsit B/M durant un temps determinat i inferior als períodes de lliurament dels altres mecanismes. La contrapartida és que, comparat amb el PSM i el FBMS, la sobrecàrrega que introdueix degut a les de trames de gestió per mantenir les transmissions de les diferents STAs, el fa un protocol complex i en alguns escenaris poc eficient. Sobretot pels canvis d'estat de consum constants que suporten les STAs.

## CAPÍTOL 2. ANÀLISI DEL TRÀNSIT B/M

L'estudi individual a dues subxarxes IP, de la xarxa Ethernet, i les xarxes sense fils *eduroam* i *eduroam-web* de l'EPSC, es basa en l'anàlisi estadístic de les trames del tipus *broadcast* i *multicast* que s'hi propaguen. Les dades s'extreuen a partir de 60 mostres de 10.000 trames per mostra, per a cada subxarxa. Les mostres s'obtenen cada 2 hores des de les 00:00h fins a les 22:00h, de dilluns a diumenge. Acceptant que el comportament a llarg termini és el mateix cada setmana.

### 2.1 Anàlisi de les subxarxes de l'EPSC

L'anàlisi inicial tracte el volum de trànsit capturat donant un pes percentual relatiu en funció del protocols observats. Per altre banda s'ha calculat el temps mitjà entre arribades de trama per cada mostra.

#### 2.1.1 Subxarxa 147.83.113.0/24

En aquesta subxarxa s'han detectat un màxim de 40 *hosts* amb activitat. Els protocols que utilitzen adreces *broadcast* observats són:

- *Address Resolution Protocol* (ARP).
- NetBIOS Datagram Service (NetBIOS DS).
- NetBIOS Name Service (NetBIOS NS).
- Common Unix Printing System Browsing Protocol (CUPS).

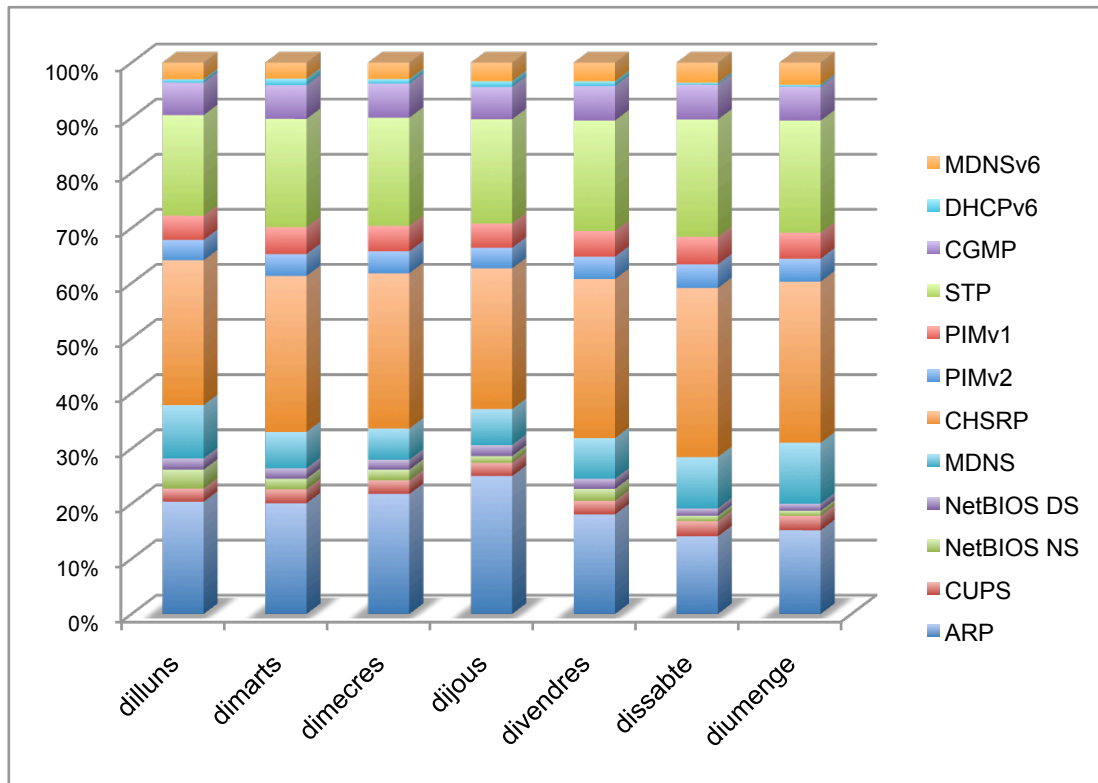
La proporció de trames en aquest mode de transmissió no supera el 30% del volum de trames a la subxarxa i el protocol més representatiu corresponent a les trames ARP. Les peticions ARP es concentren a les hores (de 10:00h a 20:00h) i els dies (de dilluns a divendres) lectius de l'escola. Aquest comportament és similar amb la resta de protocols que realitzen peticions *broadcast*, tot i que l'impacte sobre la mostra és inferior.

Els protocols que utilitzen adreces de destí *multicast* a les mostres analitzades són:

- Multicast Domain Name Service (MDNS) per trames IPv4 i IPv6.
- Cisco Hot Standby Router Protocol (HSRP).
- Protocol Independent Multicast (PIM) versió 1 i versió 2.
- Spanning Tree Protocol (STP).
- Cisco Group Management Protocol (CGMP).
- Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) per IP versió 6.

El nombre de trames per mostra es manté gairebé constant i representa entre el 70% i el 80% del volum de trames observades. Essent majoritàriament protocols de gestió i control d'elements d'encaminament o commutació de la xarxa. Encapçalant el llistat en funció del volum de trànsit que generen els protocols propietaris de *Cisco Systems* anomenats CHSRP i CGMP, seguit per trames PIMv1-IGMP i PIMv2, per gestió de *routers* i STP per gestió ponts.

A la Fig. 2.1 es pot observar gràficament el distribució dels protocols B/M conjuntament.



**Fig. 2.1** Distribució del volum relatiu de trànsit dels protocols *multicast* i *broadcast*.

A partir de la distribució de protocols en funció del dia de la setmana i la gràfica del temps mitjà entre arribades de trames, a la Fig. 2.2. Podem establir una correlació entre el trànsit *broadcast* degut a les trames ARP i el temps mitjà d'arribada de trames. Tot i no respondre a arribades deterministes, la desviació estàndard mostral del temps mitjà de la figura 2 és inferior als 60 ms els dies de més trànsit (de dilluns a dijous) i de 20 ms la resta de la setmana. Durant el dies de més trànsit s'observa una disminució lineal del temps entre arribades de les 6:00h fins a la franja horària de les 12:00h a les 14:00h, durant la tarda i vespre el temps torna a augmentar fins als temps mitjans anteriors a les 6:00h. En conjunt durant la setmana el temps mitjà entre arribades és de 395 ms amb una desviació estàndard mostral de 20 ms i una variància de  $385 \mu s^2$ .

A partir d'aquestes dades s'extreu que en aquesta subxarxa s'observa un increment de trànsit *broadcast* degut a les STA on es connecten els usuaris que utilitzen la xarxa durant l'horari lectiu. Les STA's generen trames ARP i NetBIOS, en menor mesura, per descobriment d'altres STA's i altres dispositius de la xarxa.

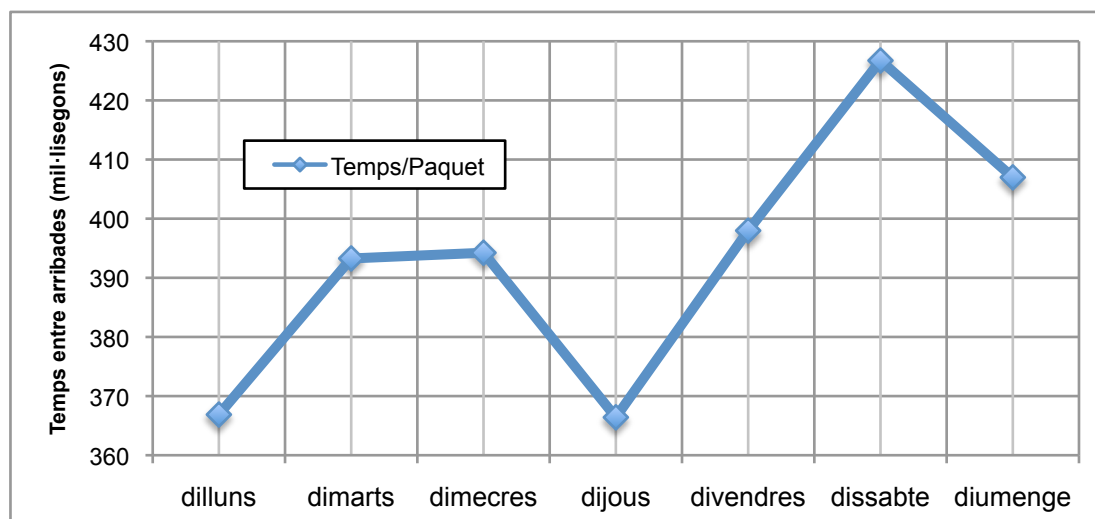


Fig. 2.2 Temps mitjà entre arribades de paquets *multicast* o *broadcast*

### 2.1.2 Subxarxa 147.83.118.0/24

En aquesta subxarxa s'han detectat un màxim de 50 *hosts* amb activitat. Com en el cas de la subxarxa 147.83.113.0; els protocols observats que utilitzen adreces *broadcast* són els següents.

- *Address Resolution Protocol* (ARP).
- NetBIOS Datagram Service (NetBIOS DS).
- NetBIOS Name Service (NetBIOS NS).

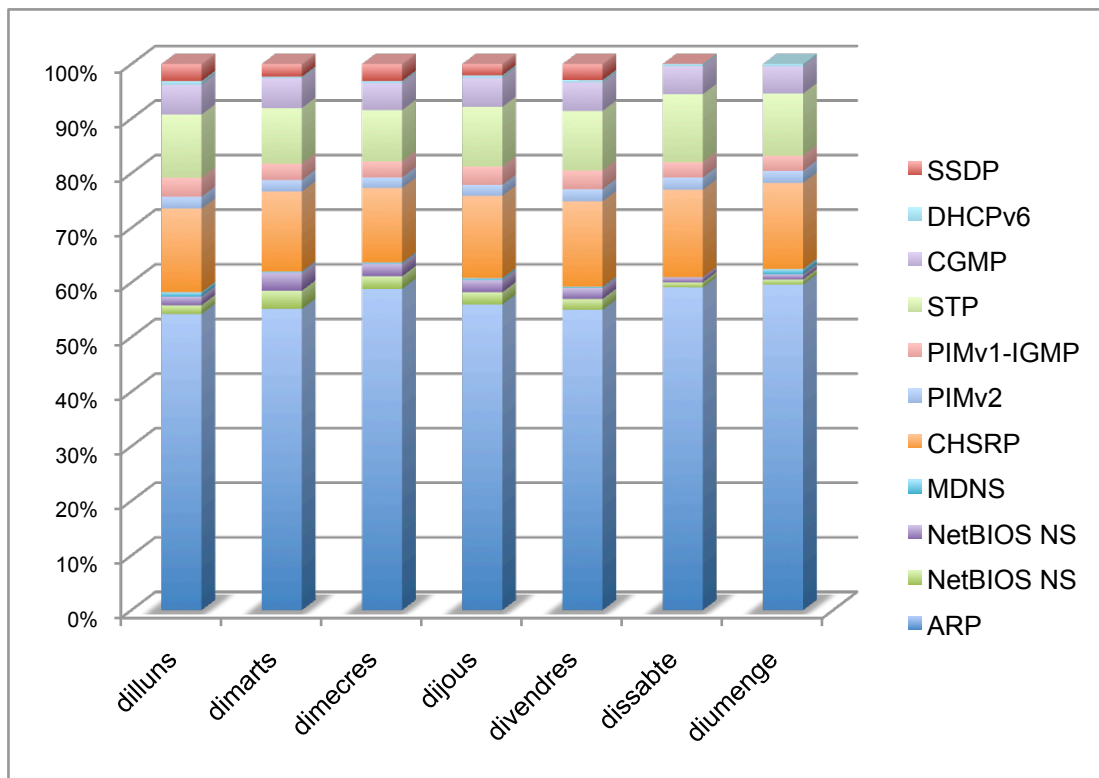
En aquesta subxarxa el volum de trànsit més destacable són les peticions del protocol ARP, es manté entre el 53% i el 60%, sense variacions significatives en nombre de trames entre dies i franges horàries del dia.

En el cas dels protocols multicast, la distribució de tipus de trànsit es caracteritza per la presència del protocol de descobriment de dispositius UPnP. *Simple Service Discovery Protocol* (SSDP). La presència d'aquest protocol arriba a quotes del 10% durant horari lectiu (de dilluns a divendres, de les 10:00h fins a les 18:00h). A més dels protocols observats a l'anterior subxarxa.



- Multicast Domain Name Service (MDNS) per trames IPv4 i IPv6.
- Cisco Hot Standby Router Protocol (CHSRP).
- Protocol Independent Multicast (PIM) versió 1 i versió 2.
- Spanning Tree Protocol (STP).
- Cisco Group Management Protocol (CGMP).

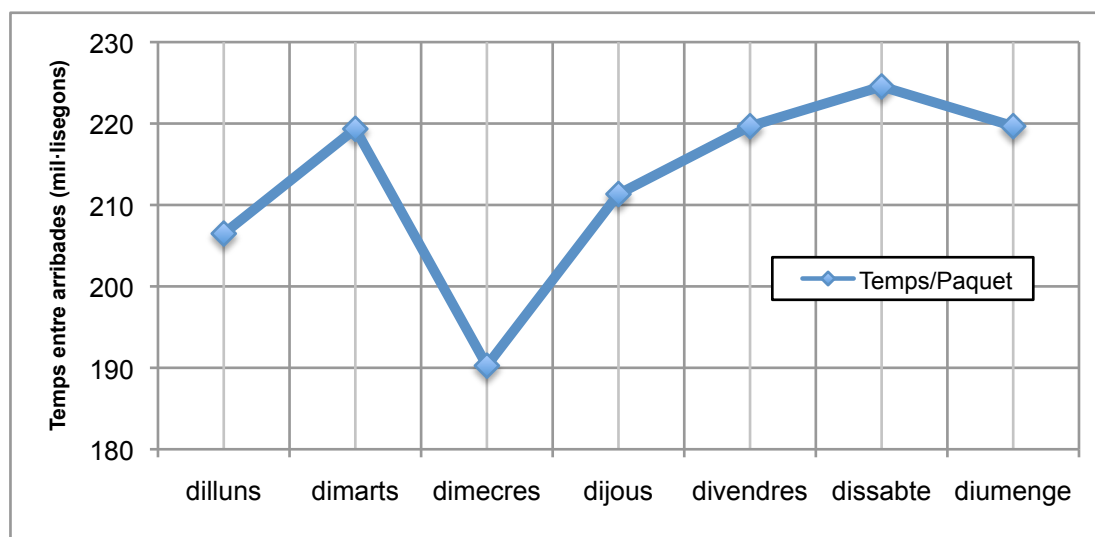
Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) per IP versió 6. Els paquets s'originen des d'un grup de IPs i destinació a un grup multicast, la intensitat de trames augmenta del matí fins al migdia i va disminuint fins al final de la jornada lectiva. Aquesta presència modifica la distribució de tots els altres protocols que mantenen la mateixa taxa durant totes les mostres, amb l'excepció dels protocols NetBIOS que durant el període del cap de setmana disminueix un 2,5% respecte tot el trànsit.



**Fig. 2.3** Distribució del volum relatiu de trànsit dels protocols *multicast* i *broadcast*.

La intensitat de trànsit en aquesta subxarxa augmenta respecte el cas de la subxarxa 147.83.113.0/24. La principal causa es deu a l'augment de trànsit ARP existent. A la Fig. 2.4 s'observa que, tot i les variacions pronunciades entre setmana, la màxima diferència és de 25 ms (entre el dimecres, amb major presència del protocol SSDP i el Dissabte, dia sense cap tipus de trànsit residual com les trames multicast DHCPv6). El motiu per les variacions el trobem a la desviació estàndard mostral del temps entre arribades del dimecres i el dijous amb valors de 31 ms, mentre que la resta dels dies no

supera el 17 ms. En conjunt durant la setmana el temps mitjà entre arribades és de 220 ms amb una desviació estàndard mostral de 10 ms i una variància de  $110 \mu s^2$ .



**Fig. 2.4** Temps mitjà entre arribades.

Finalment, després d'aquest estudi estadístic. Podríem concloure que el trànsit B/M observat a les dues subxarxes representa una càrrega d'entre 8.500 i 19.000 paquets per hora a cada terminal; missatges destinats principalment al control, gestió i encaminament, essent informació no necessària ni per la connectivitat ni per les aplicacions de la STA. En el cas de xarxes sense fils amb STA que utilitzen mecanismes d'estalvi d'energia, els més de 5 paquets B/M cada segon obliguen a passar a estat despert per cda període DTIM.

Després de l'anàlisi de la tipologia de protocols que es transmeten per la xarxa, podem extreure un seguit de recomanacions o regles específiques que evitarien la difusió d'aquests paquets dins l'àrea de cobertura de les WLANs. Percentualment cal destacar el protocol ARP, que pot ser gestionat mitjançant el mecanisme de Proxy ARP que s'exposa al següent capítol. Els protocols de Cisco són fàcilment controlables amb un correcte disseny de l'arquitectura de la xarxa fixe o aplicant un regla de bloqueig l'AP, si aquest ho possibilita. De la mateixa manera es poden bloquejar als APs els protocols d'encaminament i gestió, PIM, STP i altres protocols B/M estàndards. El protocol NetBIOS permet configuracions locals per utilitzar adreces *unicast*, tot i poder ser filtrat també pels *routers*.

## 2.2 Anàlisi de la xarxa sense fils *eduroam-web* / *eduroam*

Durant els períodes de mostreig s'han capturat trames ARP corresponents a dispositius amb IPv4 autoassignades [12] (rang 169.254.0.0/16) amb un temps mitjà entre arribades de 4,1 ms, és a dir, una mitja de 15 trames per hora. I trames multicast IGMP versió 2 i versió 3, destinades als grups 224.0.0.2 224.0.0.22 des de adreces IPv4 origen autoassignades, amb un temps mitjà entre arribades de 8 ms.

Les xarxes sense fils *eduroam-web* i *eduroam* implementen l'arquitectura de xarxa sense fils unificada de Cisco (3.2). Tal com es descriurà al següent capítol, gestiona les trames B/M, evitant que es propaguin a través dels seus punts d'accés. De manera que no és possible la transmissió de continguts mitjançant subscripció a grups multicast, ja que la contingut que es difon l'AP no el retransmet a les STA que s'hi subscriguin.

Hem realitzat una prova que demostra el comportament de la xarxa davant el trànsit B/M. A partir d'un servidor de continguts multimèdia<sup>3</sup> associat a un AP de la xarxa *eduroam-web*, hem injectat un fluxe multicast al grup 239.255.2.1. Una STA associada, des d'un altre AP de la mateixa xarxa no ha rebut cap trama d'aquest grup. El mateix contingut multimèdia ha estat injectat amb un fluxe unicast des del mateix servidor cap a la mateixa STA i ha estat capaç de reproduir-lo.

---

<sup>3</sup> VideoLAN - VLC media player. Disponible a: <<http://www.videolan.org/>>

## CAPÍTOL 3. MECANISMES PER A REDUIR EL TRÀNSIT B/M

La clau per augmentar l'eficiència amb els mecanismes estàndards per reduir el consum, exposats al capítol 1, és mantenir la permanència en estat de baix consum. Comportament que s'aconsegueix reduint l'activitat de la interfície.

En aquest capítol exposem mecanismes estàndards i propietaris que van en aquesta línia, reduint significativament el trànsit B/M no necessari pel bon funcionament i/o la operativitat les STAs. Això permet augmentar el temps en l'estat de baix consum.

### 3.1 Proxy ARP

El mecanisme *Proxy Address Resolution Protocol* (ARP) que es base amb els RFC 925 i RFC 950, permet resoldre adreces IP de peticions ARP sense difondre la petició a tota la xarxa. Aquest mecanisme s'implementa als elements de xarxa que encaminen les trames a nivell 3 del model OSI, típicament un *router*. A través de la *caché* ARP del router, on manté les relacions IP - MAC dels elements de xarxa dels dominis IP que divideix, coneix quines respostes ARP pot donar. Si la petició rebuda fa referència a una entrada de la *caché* ARP, el Proxy respon la petició, donant com adreça MAC l'adreça de la interfície per on rep la petició. En cas contrari, si no té l'entrada, reenvia la petició d'adreça MAC cap a totes les interfícies.

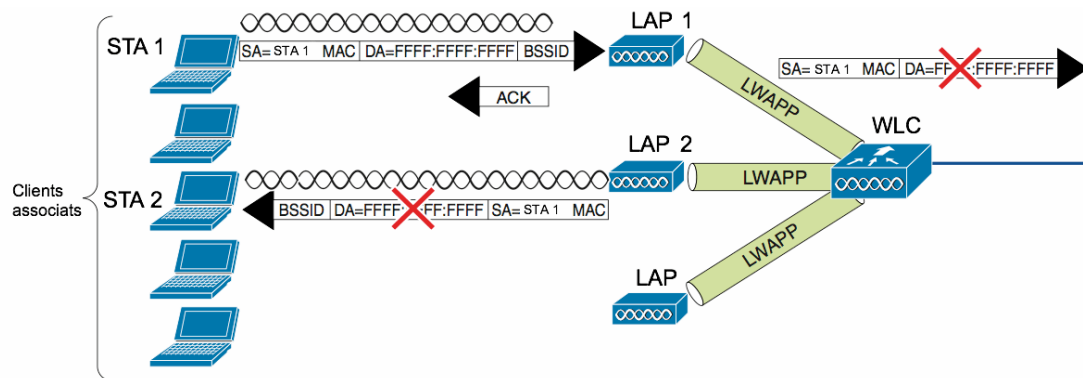
Per tant, amb aquest mecanisme en els escenaris amb STAs, associades a un AP, el trànsit *broadcast* degut a peticions ARP es redueix a la meitat (veure capítol 2).

### 3.2 Solucions propietàries

A partir del comportament observat a les xarxes sense fils *eduroam-web* i *eduroam*, ens hem fixat en la solució implementada: La proposta de xarxa sense fils unificada de Cisco [15]. Una solució centralitzada pel controlador anomenat *Wireless LAN Controllers* (WLC), que estableix la configuració i la gestió de les WLANs a partir del protocol propietari *Lightweight Access Point Protocol* (LWAPP). Proporcionant la tunelització (a nivell 2 o nivell 3 del model OSI) del trànsit entre l'AP LWAPP (LAP) i el WLC.

Un component clau del LWAPP és la divisió per MAC (*split MAC*). Un AP 802.11 genèric, bàsicament connecta a nivell MAC les STAs WLAN, associades a un BSSID<sup>4</sup>, a una xarxa cablejada. Però l'estàndard 802.11 estén el concepte d'AP genèric per permetre a múltiples APs utilitzar el mateix identificador (ESSID<sup>5</sup>) i les STAs puguin connectar-se a la mateixa xarxa sense fils a través de més d'un AP. En aquesta arquitectura el concepte de *LWAPP split MAC*, distribueix les funcions d'un AP entre dos components, un LWAPP AP i un WLC. La configuració predeterminada del controlador reenvia tot el trànsit que circula per la xarxa excepte qualsevol transmissió de difusió mitjançant trames B/M de nivell 2 o nivell 3.

Tal com es mostra l'escenari de la Fig. 3.1, la STA 1 associada al punt d'accés 1, *Lightweight Access Point* (LAP), difon una trama *broadcast*, que es transmet directament del LAP al WLC a través del túnel i es bloqueja, evitant la retransmissió a altres STA's associades al mateix LAP, el reenviament a altres LAPs de l'ESSID o a la xarxa cablejada. Anàlogament es bloqueja el trànsit *multicast*.



FONT: Cisco Systems, Inc. Enterprise Mobility 4.1 Design Guide: Broadcast and Multicast on the WLC

**Fig. 3.1** Comportament per defecte del trànsit B/M a WLC

Tal com hem exposat a 2.2, hem comprovat durant l'anàlisi de trànsit B/M a les xarxes *eduroam* i *eduroam-web* del recinte de l'EPSC, que implementa la solució exposada.

Per reduir l'impacte del bloqueig del trànsit B/M sobre les STAs, la configuració predeterminada de la xarxa sense fils unificada de Cisco, implementa al WLC els següents mecanismes.

<sup>4</sup> Codi identificador de l'AP per les STAs associades, Basic Service Set Identifier (BSSID)

<sup>5</sup> Grup d'un o més APs interconnectats que comparteixen el mateix identificador, Extended Service Set Identifier (ESSID).

### 3.2.1 Servidor DHCP

Perquè les STAs obtinguin informació necessària per a la seva configuració mitjançant el protocol DHCP, el WLC actua com agent DHCP repetidor. Reenvia les peticions al servidor DHCP i evita la difusió de les trames *broadcast* per la WLAN d'aquest protocol.

La configuració predeterminada del WLC pels missatges del protocol DHCP, d'assignació de IP (*DHCP Offer*) i confirmació (*DHCP ACK*), els envia utilitzant trames unicast. Excepte els missatges de negació de servei (*DHCP NACK*). Aleshores envia la trama *broadcast* que reben totes les STAs associades. Aquest fet es produeix si el servidor determina que la STA realitza una petició d'adreça (*DHCP Request*) sense haver transmès anteriorment una petició de descobriment (*DHCP Discover*).

### 3.2.2 Proxy ARP

El WLC respon directament les peticions ARP de les STA's, actuant com un *Proxy ARP*. Si la petició d'IP no consta a la seva *cache ARP*, reenvia la petició a la xarxa amb fil perquè la resolgui un altre WLC. En cap cas la petició es difon per la xarxa sense fils.

### 3.2.3 Gestió de trànsit *multicast*

Des del WLC, a partir de la versió 4.1 del *firmware*, tracte el trànsit *broadcast* i *multicast* per separat. Poden activar el reenviament d'un i/o un altre en funció de les necessitats.

Al activar el trànsit *multicast*, es pot reenviar des del WLC als LAPs mitjançant el mode unicast o el mode *multicast*.

- **Mode unicast:** El WLC envia cada trama *multicast* a cadascun dels LAPs subscrits. És el mètode més ineficient, però vàlid per xarxes que no suportin grups *multicast* LWAPP.
- **Mode multicast:** El WLC envia les trames *multicast* a un grup *multicast* LWAPP i es difon per tots els LAPs subscrits. Aquest mètode redueix l'operació del sistema del processador del controlador, i per tant, és molt més eficient que el mode unicast.

Els LAPs poden rebre diferents fluxes *multicast* del WLC o de les STAs associades a les interfícies sense fils, però només processa i reenvia aquells fluxes dels grups *multicast* subscrit.

Per activar el reenviament del trànsit *multicast* utilitzant la interfície gràfica (GUI) del controlador com mostra la Fig. 3.2 és necessari configurar a nivell 3

el túnel LWAPP i determinar l'adreça IP del grup *multicast*. Per activar el reenviament del trànsit *broadcast*, només es pot fer accedint a la configuració via la interfície per línia de comandes (CLI).

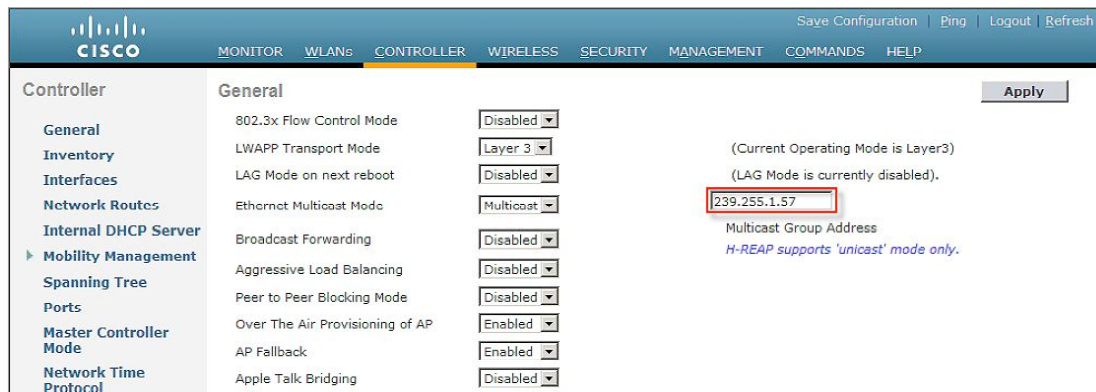


Fig. 3.2 Comanda via GUI, per activar el mode de transmissió multicast

Un vegada activat, tot el trànsit *multicast* es reenvia per les interfícies sense fils dels LAPs, incloent les trames dels protocols de gestió d'encaminament (HSRP, EIGRP, OSPF i PIM), o protocols de gestió de la capa d'enllaç (STP) i de gestió de la capa d'aplicació (DHCP, MDNS o NetBIOS). Tal com mostra l'anàlisi del trànsit B/M del capítol 2.

Aplicant les tècniques de limitació de trànsit *multicast*, permet aplicar filtres per IPs *multicast* i els missatges de gestió de recursos ràdio, Auto-RP. A través de la interfície per línia de comandes amb la comanda *ip multicast boundary*. Altres commandes útils per reduir l'impacte d'aquest tipus de trànsit és *ip multicast rate-limit*, per limitar-ne la taxa. A <http://www.cisco.com/go/multicast>, es detallen els filtres de trànsit multicast i es plantegen solucions específiques per diferents escenaris.

D'altra banda, ofereix dos tipus de desplegaments del trànsit multicast per la xarxa, el centralitzat i el distribuït:

- El centralitzat concentra totes les WLANs als WLCs amb la mateixa VLAN. Si una sola STAs es subscriu a un fluxe, tots els LAPs connectats als WLCs, els rebran i els transmetran a qualsevol STA associada als LAPs.
- El distribuït en diferents VLANs, permet aïllar els fluxes *multicast* als LAPs connectats al WLC. Per contra, pot causar problemes d'interrupcions del fluxe si la STA canvia a una WLAN d'un altre WLC.

Per tant, per reduir l'impacte del trànsit B/M i assegurar la operativitat de les STAs. Cal valorar les característiques de la xarxa (disseny, arquitectura, serveis) i la mobilitat de les STAs. Per poder aplicar les tècniques de limitació de trànsit multicast i el desplegament del trànsit multicast distribuït.

### 3.2.4 Punts d'accés Cisco Aironet

Per escenaris senzills, una xarxa sense fils IEEE 802.11 amb infraestructura pot operar només amb APs. Cisco implementa als seus APs de la gama *Aironet* de la serie 1000 [14], una solució de Proxy ARP anomenada *ARP Caching*. Aquest mecanisme descarta la petició i no la reenvia si l'adreça IP no consta a la caché ARP. Però el comportament del ARP Caching es pot ajustar al mecanisme estàndard de Proxy ARP si s'activa l'opció *Optional ARP Caching*. A més, a través de les trames *beacon*, l'AP alerta a les STAs associades que poden ignorar les trames de petició *broadcast ARP* per disminuir el consum de la bateria.

D'altra banda, aquests punts d'accés implementen un mecanisme d'estalvi d'energia basat en l'ús de trames *Gratuitious Probe Response* (GPR) per la interfície radio IEEE802.11a. La transmissió d'aquestes trames informa amb més freqüència les STAs de la presència d'una WLAN, reduint el consum d'energia que provoquen els temps d'escolta per canal durant els escaneigs passius. La característica principal d'aquest mecanisme es la configuració de transmissió de les trames GPR amb l'interval des de 10 a 255 ms, valors típicament inferior als intervals de *beacon*, també permet regular la velocitat de transmissió.





## CAPÍTOL 4. MESURES EMPÍRIQUES DE CONSUM

Tal com hem presentat als capítols 1 i 3, els mecanismes d'estalvi d'energia IEEE802.11 i la reducció del trànsit B/M, permeten minimitzar el consum de les interfícies WLAN. En aquest capítol detallem els resultats de les mesures empíriques de consum sobre dues STAs de característiques diferents, utilitzant PSM. També observem els processos bàsics de la gestió de la mobilitat a xarxes sense fils per les dues interfícies WLAN. A més, comprovem l'impacte del trànsit B/M, amb el trànsit *broadcast* corresponent al protocol ARP, i finalment a través de fluxes de trànsit *multicast*, en funció de les velocitats físiques i les modulacions. La metodologia de les mesures realitzades es descriuen a l'annex I. Estudis anteriors [16] i [17] presenten resultats de mesures empíriques de consum mitjà per l'impacte del trànsit B/M o per determinar senzillament la durada de la bateria en funció dels mecanismes d'estalvi d'energia IEEE802.11 exposats al capítol 1. Al nostre projecte, a més de les mesures dels estudis anteriors, identifiquem els consums específics de cada procés de la gestió de la mobilitat i de trames B/M com el beacon o la petició ARP.

### 4.1 Escenari de proves

L'escenari de proves que mostra la Fig. 4.1, ens permet reproduir el comportament d'una STA a una xarxa sense fils amb infraestructura, conjuntament amb el punt d'accés (AP) i la STA externa. Addicionalment la interconnexió de les STAs a l'analitzador de potència, ens permet obtenir consum instantani.

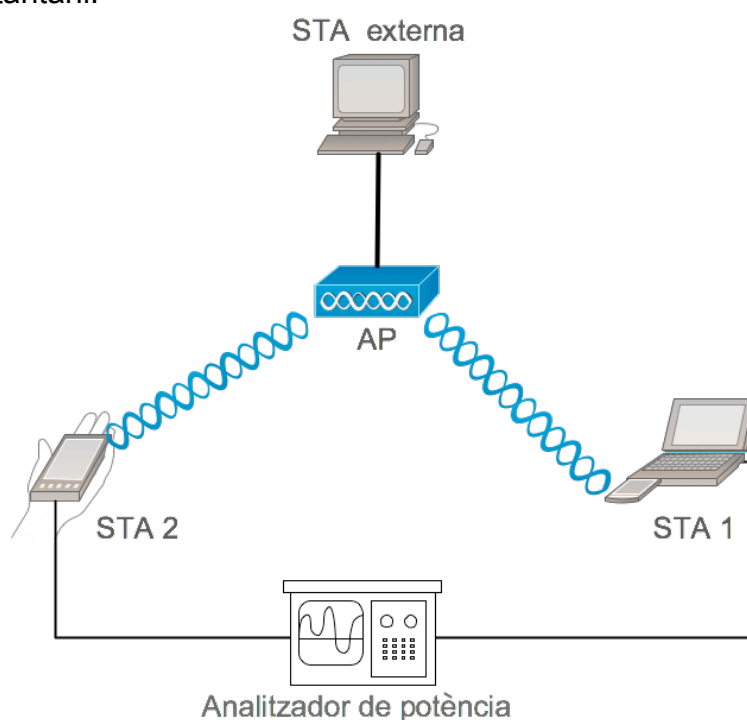


Fig. 4.1 Escenari de proves

L'AP és l'element que centralitza totes les transmissions i permet la connectivitat a les STAs a una xarxa sense fils amb infraestructura. La STA 1 respon a un perfil de dispositiu portable o portàtil. Mentre que la STA 2 és un telèfon mòbil dual (xarxes de telefonia mòbil i xarxes sense fils). La STA 1 consta d'elements *hardware* de consum elevat respecte el consum total de la STA 2. Totes dues STA's s'associen a l'AP mitjançant la interfície radio 802.11b/g (a la banda de 2.4 GHz) utilitzant preàmbul curt, amb un interval de *beacon* de 100 ms i un període de DTIM amb valor 3. A l'annex II es poden veure les característiques completes de les STAs i l'AP. La STA externa, és l'equip utilitzat com a *router* de porta d'enllaç, i proporciona els serveis necessaris per dur a terme les proves que es detallen a continuació.

## 4.2 Mesures bàsiques de la gestió de la mobilitat

A partir del perfil de les dues STAs de l'escenari de proves, exposem els comportaments i resultats de consum, durant els processos bàsics de la gestió de la mobilitat a xarxes IEEE802.11. A ambdues STAs activem el mecanisme d'estalvi d'energia PSM.

D'aquestes proves volem extreure els consums associats als següents processos:

1. Transicions entre estats de consum. El cas més simple és la recepció d'un *beacon*, la STA passa de l'estat adormit a l'estat despert a cada LI.
2. Connexió a una xarxa sense fils amb infraestructura 802.11 a nivell d'enllaç. Cerca d'APs, associació i re-associació a un altre AP, amb autenticació oberta i sense xifrar les dades.
3. Connectivitat a nivell de xarxa (nivell 3 del model OSI). Consum per obtenir una adreça IPv6.

### 4.2.1 Interfície STA 1

Denominarem STA 1 al ordinador portàtil amb SO Linux on mesurarem l'impacte sobre la bateria que té una interfície sense fils. La bateria d'ió liti del portàtil té una capacitat de 5093 mAh. El consum mitjà de la STA 1 en **estat operatiu sense activitat**<sup>6</sup>, és de 1,600 A. La interfície WLAN utilitzada és l'adaptador WUSB600N de Linksys®, que compleix l'estàndard IEEE802.11a/b/g i IEEE802.11e (certificació WMM-PS), amb el controlador RT2870 v2.3 per Linux de Railink®. A la Taula 4.1 es mostren les especificacions de consum màxim, extretes del *datasheet* del fabricant.

**Taula 4.1** Consums màxims, Linksys WUSB600N.

Consum en transmissió	480 mA
Consum en recepció	300 mA

<sup>6</sup> Veure la descripció de l'estat de la STA 1 a la *Metodologia de les mesures empíriques*.

L'augment de consum mitjà que suposa la connexió física i l'activació de la interfície sense fils WLAN sense associar la STA és de 165 mA, el consum mitjà total de la STA 1 és de 1,765 A.

El controlador defineix el mode de funcionament normal com a *constantly awake mode* (CAM). Per activar el mecanisme PSM, es defineixen dos nivells d'estalvi d'energia; el mode *power save mode* (FAST\_PSP) i el *mode max power savings* (MAX\_PSP), on hem observat que augmenta l'interval per la transmissió de la trama *Null function data*. A més, permet habilitar el mecanisme UAPSD. A la Taula 4.2 **Consum mitjà de la STA 1 associada sense trànsit**, es mostren els valors de consum mitjà de la STA 1 amb la interfície sense fils activada associada a l'AP sense trànsit i sense cap altra STA associada a l'AP.

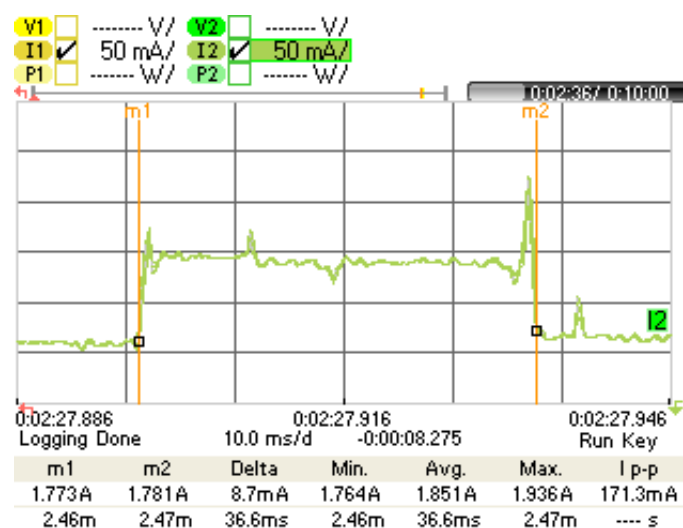
**Taula 4.2** Consum mitjà de la STA 1 associada sense trànsit.

CAM	2,000 A
FAST_PSP	1,830 A
MAX_PSP	1,805 A
MAX_PSP + UAPSD	1,800 A

Per les proves dels següents apartats, hem activat el mecanisme PSM definit com MAX\_PSP.

#### 4.2.1.1 Beacon

La Fig. 4.2. mostra la diferència de consum entre l'estat adormit i l'estat despert. La STA 1 passa a estat despert i espera la recepció de la trama *beacon*, durant aproximadament 36 ms. El consum mitjà és de 77 mA. Per tant, la STA 1 associada i sense trànsit, durant l'interval de *beacon* de 100 ms, es manté en estat adormit aproximadament 64 ms i 36 ms en estat despert.



**Fig. 4.2** Beacon STA 1

### 4.2.1.2 Escaneig actiu

Les STAs de les xarxes sense fils WiFi IEEE802.11, implementen dos mètodes per determinar l'existència d'APs. L'escaneig actiu, on la STA envia a difusió trames de gestió per demanar informació als AP's (*Probe Request*), a cada canal, esperant les trames de gestió com a resposta dels APs (*Probe Response*), amb tot la informació referent a cada AP que ha respost la STA constitueix una llista amb els diferents codis identificadors de xarxa sense fils (SSID). Mentre que l'escaneig passiu, la STA es limita a escoltar cada canal durant un període de temps determinat, i constitueix la llista mitjançant els *beacons* rebuts de cada xarxa sense fils.

A la Fig. 4.3, es mostra el procés d'escaneig actiu, mitjançant la petició del llistat d'APs disponibles l'annex II. Durant el procés la STA 1 augmenta el consum base durant un interval de temps d'aproximadament 4 segons, on es diferencien tres fases. A la primera fase es realitza un escombrat de tots els canals, és a dir, la interfície WLAN transmet trames de *Probe Request* i rep trames de *Probe Response*, durant 1 segon amb un consum mitjà associat de 1920 mA. Durant la segona fase, s'observa el comportament regular de la STA 1 amb PSM, mantenint l'augment de 80 mA respecte el consum base, durant 2 segons. L'última fase de consum representa es deu al processament de la informació, generació de la llista i mostra per pantalla de les xarxes sense fils disponibles, amb una durada de 1 segon i un consum mitjà associat de 2000 mA.

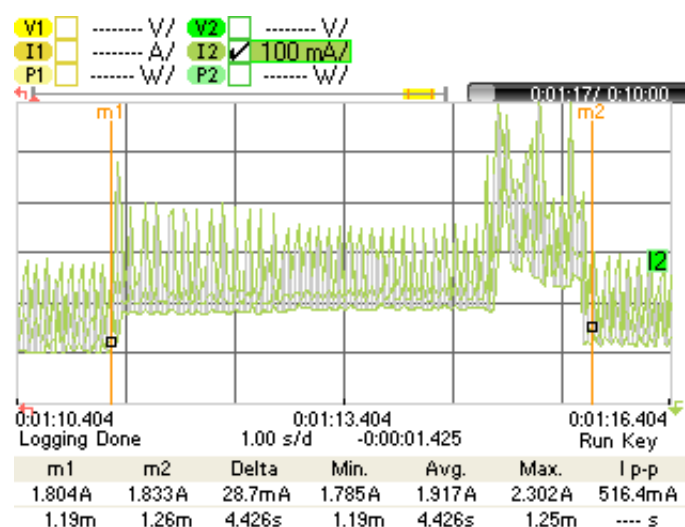


Fig. 4.3 Procés d'escaneig complet de la STA 1

A la Fig. 4.4 es mostra el consum les trames *Probe Request* i *Probe Response*. A partir dels pics de consum observats durant el procés d'escaneig se'n pot extreure el consum de transmissió i el consum de recepció necessari a l'escenari de proves.

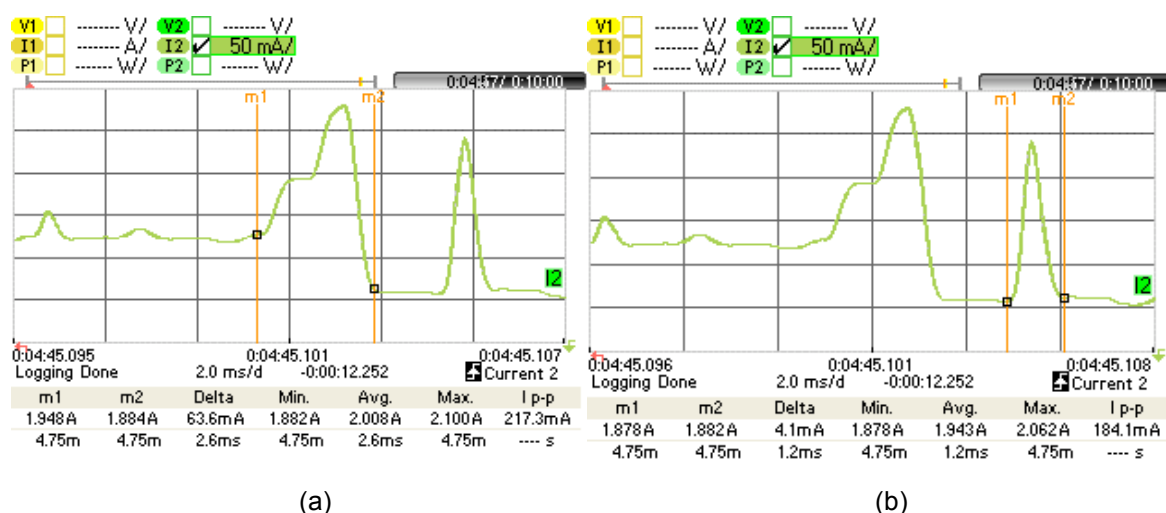


Fig. 4.4 (a) Consum dels missatge *Probe Request*, (b) Consum del missatge *Probe Response*, de la STA 1

#### 4.2.1.3 Associació

El procés d'associació consta de dues fases. Inicialment, abans de començar el procés que es mostra a la Fig. 4.5, la interfície passa a estat despert escoltant en canal (*listen*). A la primera fase, incrementa el consum després de la recepció d'un *beacon*, genera la petició *Probe Request* cap a l'AP a la que es vol associar, torna a l'estat despert, i seguidament rep la resposta *Probe Response* de l'AP. Es manté en estat despert durant aproximadament 20 ms. A la segona fase, incrementa de nou el consum per generar els missatges del procés d'associació i es produeix l'intercanvi de trames d'autenticació i autorització entre la STA i l'AP. Finalment la STA rep la trama IGMP de subscripció al grup multicast 224.0.0.1 i envia la trama *PS Poll*. Es manté en estat despert durant aproximadament 30 ms i torna a enviar trama *PS Poll* amb la indicació que torna a l'estat adormit.

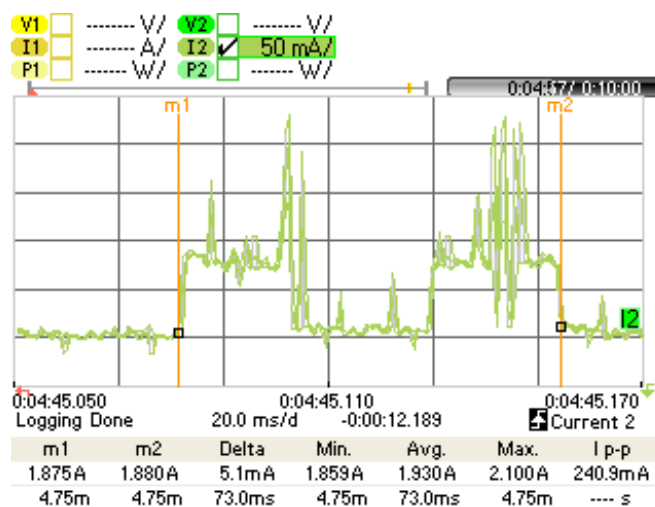


Fig. 4.5 Procés d'associació de la STA 1

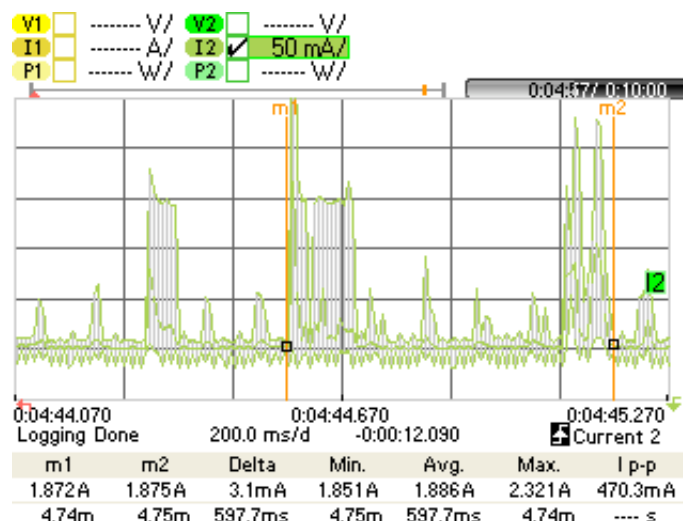
#### 4.2.1.4 Re-associació

A la Taula 4.3 es descriuen les fases del procés de re-associació. Inicialment la STA 1 es desautentica de l'AP actual, seguidament realitza un escaneig actiu als canals amb activitat i després d'un període d'inactivitat de 380 ms, es reproduïx el procés d'associació (4.2.1.3).

**Taula 4.3** Fases del procés de re-associació de la STA 1

Fase	Acció	Temps (ms)	Consum mitjà (mA)
Primera	Desautenticació	5	2315
Segona	Escaneig actiu als canals amb activitat	145	1900
Tercera	Inactivitat	375	1825
Quarta	Associació	75	1930
<b>Total</b>		<b>600</b>	<b>1860</b>

A la Fig. 4.6 es mostra la representació del consum de les quatre fases, entre el marcadors (m1 i m2). On s'observa el pic inicial de la primera fase, seguit de pics corresponents a les trames de *Probe Request* i *Probe Response*. A continuació un interval de temps de baix consum i finalment els pics de consum corresponents al procés d'associació.



**Fig. 4.6** Procés de re associació de la STA 1

#### 4.2.1.5 Obtenció d'adreça IPv6

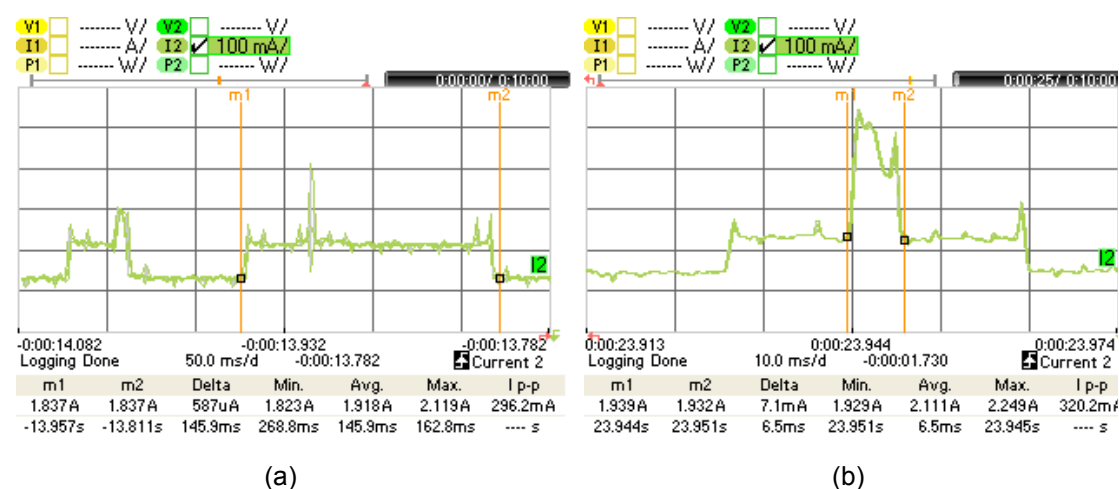
Per completar les proves de consum derivades de la gestió de la mobilitat, observem el cost energètic necessari per obtenir connectivitat a nivell de xarxa. La STA 1 permet l'adreçament IPv6 [18], mitjançant dos mètodes

d'obtenció d'adreça global. En funció del mètode, el comportament de la STA 1 i els missatges que intervenen varien, obtenint diferents consums.

El primer mètode observat és l'auto-configuració o mecanisme IPv6 *stateless* d'auto-configuració [19], mitjançant el qual la STA 1 genera la seva adreça global IPv6. A la STA externa de l'escenari de proves cal implementar les funcionalitats de *router*. Inicialment aquest mètode consta del missatge multicast ICMP d'anunci, *Router Advertisement (RA)* [22], enviat pel *router* que conté els paràmetres de configuració. La STA 1 rep aquest missatge just després del *beacon* amb la indicació de lliurar el trànsit B/M al camp TIM. Tal com mostra la Fig. 4.7a, el corrent delimitat pels marcadors (m1 i m2) correspon al consum mitjà de l'estat despert durant un LI, la recepció del *beacon* i el RA, i la recepció del següent *beacon*. Representa un total de 1,923 A, durant 145 ms. Aquest comportament de consum per trànsit B/M es descriu més endavant.

El RFC 4862 determina que totes les adreces *unicast* haurien de comprovar la seva singularitat mitjançant el mecanisme de detecció d'adreces duplicades [19] (DAD). Per tant, el cost energètic d'aquest mecanisme formaria part del mètode d'auto-configuració. Aquest mecanisme genera l'enviament del missatge *Neighbor Solicitation* [22] (NS), des de la STA després d'un període de contenció (1 segon aprox.) al rebre el RA, tal com mostra la Fig. 4.7b amb el consum mitjà associat és de 2,100 A. Finalment caldria afegir el consum, també de 2,100 A, associat a la recepció del missatge *Neighbour Advertisement* [22] en el cas que es produís un conflicte per duplicació d'adreces. L'alternativa al DAD és la implementació del DAD optimista (ODAD) [20], que permet a la STA enviar el missatge NS just després de rebre el RA, sense el temps esperar el contenció.

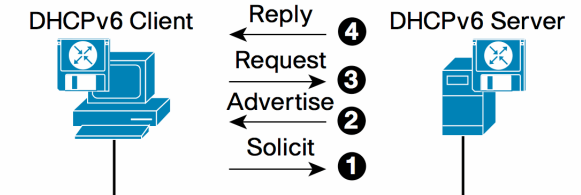
Assumint que només comptabilitzem els períodes de consum derivats dels missatges que intervenen al procés d'auto-configuració. Assumim que el consum mitjà total representa el mateix pel mecanisme DAD com pel ODAD, i aquest augment representen 170 mA respecte a el cas de desactivar el DAD. Obtenint un consum mitjà total de 2,017 A



**Fig. 4.7** (a) Consum del missatge *Router Advertisement*, (b) consum del missatge multicast *Neighbour Solicitation*, a STA 1



El segon mètode, la STA 1 obté l'adreça global mitjançant el protocol de configuració dinàmic per a IPv6 (DHCPv6) [21]. Anomenat protocol IPv6 *stateful*, perquè manté les taules d'estat de l'adreça IPv6 a un servidor. Utilitzem el mecanisme ODAD, seguint les recomanacions dels RFC 4862 i 3315. A la Fig. 4.8 es mostra esquemàticament l'intercanvi de missatges entre la STA i el servidor DHCPv6 per obtenir l'adreça global i altres paràmetres de xarxa.



FONT: Cisco Systems, Inc. *DCHP for IPv6 (RFC3315)*

Fig. 4.8 Intercanvi de missatges entre client i servidor DHCPv6

La STA (o Client) envia el missatge multicast *Solicit* (1) per obtenir una adreça IPv6 i un missatge NS, corresponent al primer pic de consum de la Fig. 4.9. El servidor respon amb el missatge *Advertise* (2) assignant una adreça IPv6 global a la STA, correspon al segon pic de consum, després del *beacon*. La STA manté l'estat despert per generar i transmetre el missatge *Request* (3), amb les peticions de servidor de DNS i servidor de domini, corresponent al tercer pic de consum. Finalment el servidor DHCPv6 transmet el missatge de resposta *Reply* (4) per donar resposta a les peticions i la STA envia el missatge Multicast Listener Report [23] per subscriure's al grup multicast (aquest missatge del protocol de descoberta no són d'ús obligat a DHCPv6), produint el quart pic de consum de la Fig. 4.9. La STA passa a estat adormit després de dos LI. A més del consum associat als missatges, cal afegir el consum, als pics, de les trames *beacon* i les trames *PS-Poll* (que indiquen l'estat despert de la STA) pròpies del mecanisme PSM. El consum mitjà de tot el procés, és de 1,915 A, durant 540 ms.

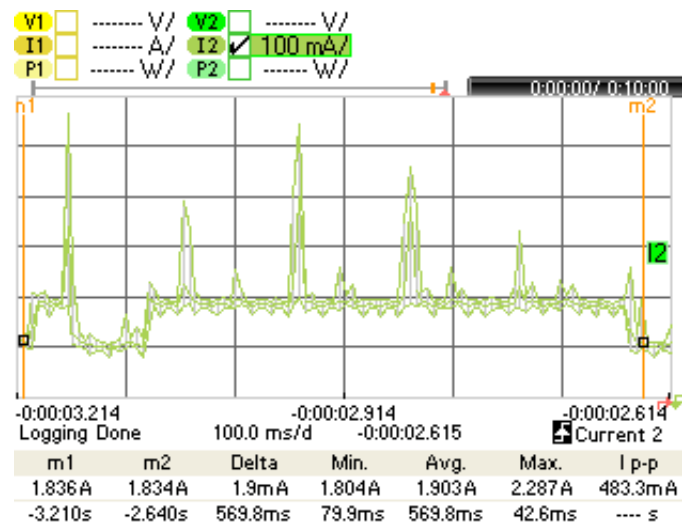


Fig. 4.9 Consum de obtenció IPv6 amb DHCPv6

## 4.2.2 Interfície STA 2

La STA 2<sup>7</sup> conté una bateria d'ió liti, amb una capacitat de 1050 mAh. La interfície WLAN integrada suporta l'estàndard IEEE802.11b/g.

El consum mitjà base de la STA 2, en **estat operatiu sense activitat**<sup>8</sup>, és de 140 mA. Tot i que, per l'ús habitual, es considera que la pantalla s'apaga mentre no l'utilitzem, reduint el consum mitjà a 89 mA<sup>8</sup>.

L'augment de consum que suposa l'activació de la interfície WLAN a la STA és de 5 mA. Per tant, el consum mitjà base de la STA 2 no associat a un AP és de 145 mA.

Aquesta STA, ens permet realitzar tot el banc de proves a nivell d'enllaç, però no suporta els processos de nivell de xarxa per IPv6 i per tant, no s'ha obtingut mesures per els processos d'autoconfiguració o DHCPv6.

### 4.2.2.1 Beacon

La Fig. 4.10 mostra el cicle de consum que segueix cada *beacon*. Amb una primera fase de 5,5 ms on el consum mitjà augmenta 25 mA, una segona fase de 3 ms de consum màxim, durant la qual es rep la trama *beacon* (el temps de transmissió d'un *beacon* és d'uns 2 ms a una taxa de 1 Mbps) i una fase final de 1,5 ms amb un consum mitjà de 210 mA. El consum mitjà que per *beacon*, per la STA 2, és de 215 mA. Per tant, durant l'interval de *beacon* de 100 ms, es manté en estat adormit aproximadament 90 ms i 10 ms on augmenta el consum.

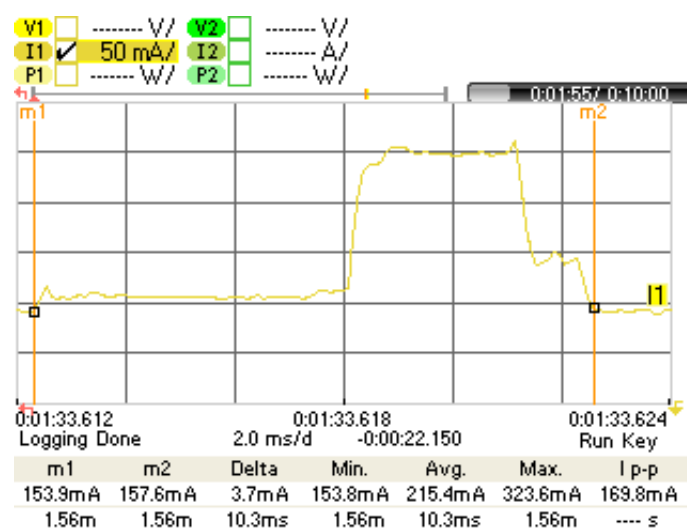


Fig. 4.10 Beacon STA 2

<sup>7</sup> No es disposa del *datasheet* de la interfície

<sup>8</sup> Veure la descripció de l'estat de la STA 2 a la *Metodologia de les mesures empíriques*.

#### 4.2.2.2 Escaneig actiu

A l'escaneig actiu, realitza una exploració seqüencial de tots el canals, amb una durada aproximada de 800 ms, el consum mig és de 320 mA, com es mostra a la Fig. 4.11. Durant el procés d'escaneig es produeixen 13 pics de consum entre els 450 mA als 460 mA. Corresponents a cada canal de l'espectre que utilitza IEEE802.11b/g, als canals amb presència d'APs els pics corresponents tenen una durada variable en funció de l'indicador de la força de la senyal de recepció (RSSI) de l'AP. Identificats els AP's que detecta la interfície WLAN del telèfon s'obté una correlació entre la durada del pic de consum per canal i la quantitat de missatges *Probe Request* i *Probe Response* enviats i rebuts per a cada canal. La STA 2 realitza automàticament un escaneig actiu cada 4 minuts.

L'ús del PSM no influeix en el resultat de les proves durant el procés d'escaneig.

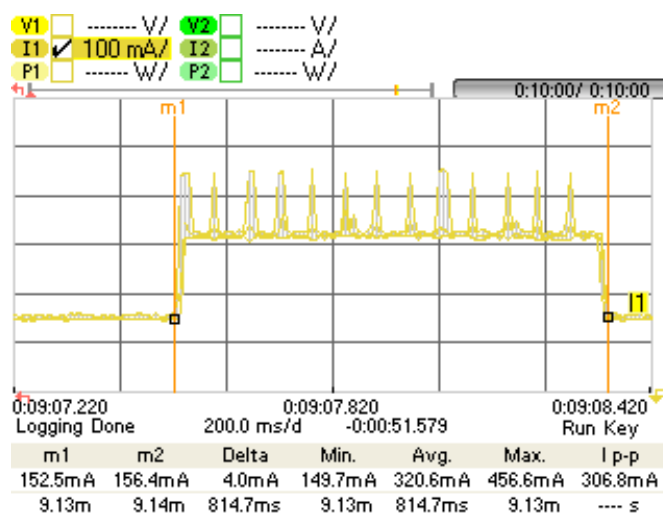


Fig. 4.11 Consum escaneig actiu de la STA 2

A la Fig. 4.12 observem el detall dels pics de consum, produïts per la transmissió de missatges de *Probe Request* i recepció de missatges *Probe Response* del canal 1.

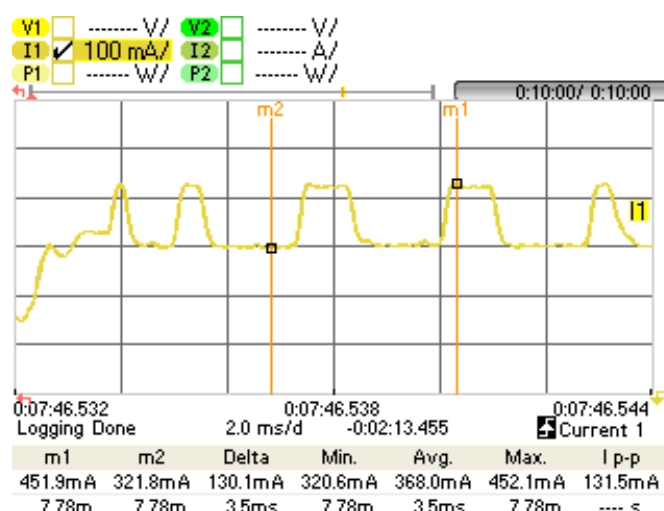


Fig. 4.12 Detall del consum del canal 1

#### 4.2.2.3 Associació

El període principal del procés d'associació de la STA 2 a un AP consta de d'una trama de petició d'autenticació de la STA 2 cap a l'AP, la trama de resposta corresponent de l'AP cap a la STA 2, una trama de petició d'associació de la STA 2 cap a l'AP i finalment la trama de resposta de l'AP cap a la STA. Amb una durada aproximada de 5 ms, on es registre un consum mig de 400 mA.

A més cal comptabilitzar també, els períodes i transmissions de missatges descrits a l'apartat 4.2.1.3. Assumint que el consum mitjà total és de 360 mA durant 130 ms.

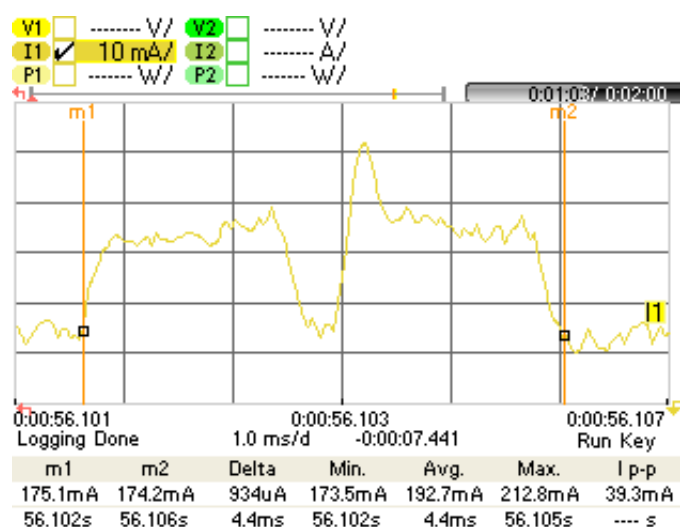


Fig. 4.13 Procés d'associació de la STA 2

#### 4.2.2.4 Re-associació

El procediment que segueix la STA 2 durant una re-associació d'un AP a un altre AP consta de quatre fases. La primera fase la STA 2 realitza un escaneig actiu (veure 4.2.1.2), la segona fase la STA 2 passa a estat adormit durant aproximadament 3 segons amb un consum mig de 165 mA, la tercera fase la STA 2 realitza un escaneig actiu, però només sobre els canals on a la primera fase havia detectat activitat d'un AP. L'última fase la STA manté un consum constant de 350 mA durant l'interval d'un *beacon*, on l'única activitat és la recepció del *beacon*. Al segon interval de *beacon* d'aquesta fase es produeix la desautenticació i associació de la STA al nou AP, amb un augment del consum mitjà a 360 mA.

**Taula 4.4** Fases del procés de re-associació de la STA 2

Fase	Acció	Temps (ms)	Consum mitjà (mA)
Primera	Escaneig actiu	700	330
Segona	Estat adormit	3000	165
Tercera	Escaneig actiu als canals amb activitat	580	320
Quarta	Associació	270	360
	<b>Total</b>	4150	235

### 4.3 Mesures de consum del trànsit B/M

Per observar l'impacte al consum del trànsit B/M al nostre escenari de la Fig. 4.1., definim la tipologia i la taxa mitjançant el programari de la font (STA externa). Connectada a l'AP, des d'on es lliuren a les STAs associades.

L'objectiu es definir el comportament entre la transició d'estats de consum i el consum mitjà total durant el període de lliurament (DTIM). Els detalls de la metodologia de mesura per les proves de trànsit B/M a l'annex I.

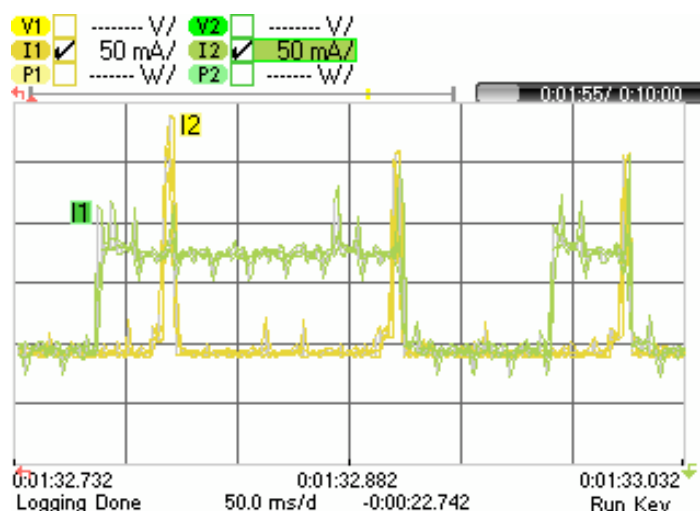
#### 4.3.1 Consum del tràfic *broadcast* (ARP)

Segons els estudis empírics [24], [25] i capítol 2, es determina com a protocol de B/M majoritari, el protocol ARP [1]. Observem l'activitat i la gestió de l'energia de la STA, en funció de la recepció de la petició ARP (84 *bytes*) i la transmissió de la resposta ARP (86 *bytes*). La petició es lliura utilitzant la velocitat física més baixa amb 802.11b (1 Mbps) perquè totes les estacions la puguin rebre correctament. Les estacions responen amb la màxima velocitat permesa amb 802.11g (54 Mbps), segons les característiques de la interfície WLAN.

Els valors de mesura dels subapartats següents, són relatius al consum mitjà per període DTIM (3 intervals de *beacon*) per cada STA.

#### 4.3.1.1 Comportament de les STAs al trànsit ARP

Tal com mostra la Fig. 4.14, el corrent entre les dues STAs varia tant en el nivell de consum com en el temps de permanència a un estat de consum.



**Fig. 4.14** Comparació dels consums del període DTIM entre les dues STAs

En el cas de la STA 1 (I1) s'observa dos períodes de intensitat alta (estat despert), el primer període correspon als dos primers *beacons*. Al primer es reben les peticions ARP i es manté en estat despert fins a la recepció del següent *beacon* (4.2.1.1) amb el camp TIM, indicant que no hi ha dades emmagatzemades al *buffer* B/M. A partir d'aquest instant, baixa la intensitat (estat adormit) durant el període entre *beacons*, i torna a l'estat despert per rebre el tercer *beacon* del període DTIM.

En canvi la STA 2 (I2), després de rebre el *beacon* que indica dades B/M emmagatzemades a l'AP, torna a l'estat adormit quan rep l'última MSDU indica que no hi ha més dades emmagatzemades al *buffer* de l'AP amb el bit de *More Data* a 0. Per completar el període DTIM passa a l'estat despert per cada *beacon* (4.2.2.1).

Els patrons de consum que defineixen el comportament de les interfícies WLAN observades, per cada període DTIM per un sola trama B/M són:

#### STA 1:

Estat despert (138 ms) + estat adormit (63 ms) + estat despert (36 ms)  
+ estat dormit (63 ms)

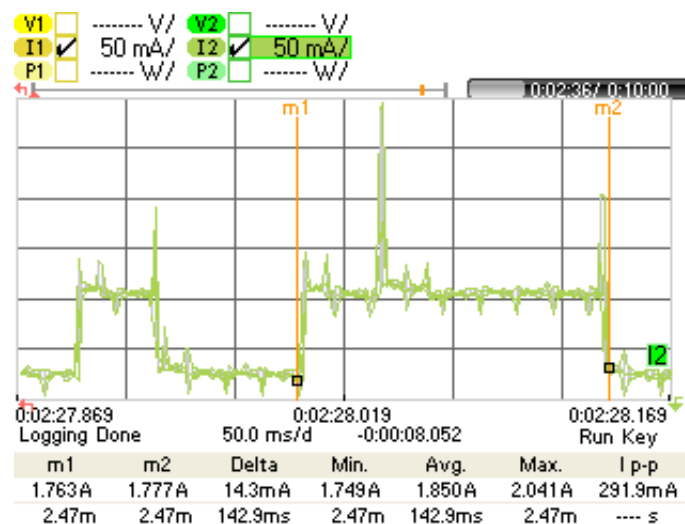
**STA 2:**

Estat despert (11 ms) + estat adormit (89 ms) + estat despert (10 ms)  
+ estat dormit ( 90 ms) + estat despert (10 ms) + estat dormit ( 90 ms)

El mecanisme d'estalvi d'energia de l'estàndard IEEE802.11 [18] especifica dues opcions per passar a estat adormit després de rebre el trànsit B/M. Aquestes dues opcions corresponen als comportaments descrits de les dues interfícies WLAN.

**4.3.1.2 Interfície STA 1**

El cas concret que mostra a la Fig. 4.15, s'observa el pic de consum després de la recepció del *beacon* que indica la presència de dades B/M. Aquest pic es degut a la recepció de la petició ARP a la STA 1 i la corresponent transmissió de la resposta ARP. La permanència a l'estat despert, a causa de la trama ARP, respon al comportament exposat a l'apartat anterior. L'augment de la taxa de peticions ARP representa un augment del consum mitjà degut al consum associat a la recepció, però no altera el temps de permanència entre els estats de consum. És a dir, es manté constant l'estat despert durant 138 ms. La implementació del mecanisme PSM del controlador RT2870 v2.3, manté aquest comportament tant per taxes baixes (una petició ARP per període DTIM) com per taxes altes (temps entre peticions inferior a 1 ms). Aquest fet que provoca la pèrdua de trames si el temps de transmissió de totes les dades emmagatzemades a l'AP, supera el temps de permanència en estat despert.



**Fig. 4.15** Període de DTIM amb la petició i resposta d'ARP de la STA 1

El consum mitjà d'una petició ARP és de 1818,47 mA. Per dues peticions, augmenta a 1819,06 mA. En canvi una sola petició ARP que generi una resposta per part de la STA, representa un consum de 1819,30 mA. Per taxes

altes, de més 1000 peticions ARP per segon (temps entre peticions inferior a 1 ms), el consum mitjà augmenta a 1895 mA.

#### 4.3.1.3 Interfície STA 2

El consum mitjà de la STA 2, al rebre una petició ARP durant un període DTIM és de 161,99 mA, per rebre tres peticions ARP augmenta a 163,03 mA. En funció el comportament observat, l'augment de la taxa d'arribada de peticions ARP representa una reducció del temps en estat adormit durant LI. Interval que precedeix el *beacon* que indica el lliurament de dades B/M, i conseqüentment representa un increment del consum mitjà del període DTIM. Per taxes properes a 1000 peticions ARP per segon, la STA 2 manté el comportament de transició d'estats de consum de PSM, tot i arribar a mantenir l'estat despert durant aproximadament 115 ms, rebent les trames emmagatzemades al *buffer* de l'AP, amb un consum mitjà de 222,44 mA. El comportament per taxes superiors el comentarem a l'apartat 4.3.2.

En aquest cas, la resposta ARP per la STA 2, representa un impacte més gran al consum. Tal com mostra la Fig. 4.16, després de rebre la petició, la interfície torna a l'estat adormit, encara que manté un increment de consum mitjà de 2 mA respecte a l'estat adormit. Es manté 4,5 ms en aquest estat, i passa a l'estat despert per transmetre la resposta ARP. Respondre una sola petició, representa un consum mitjà de 163,12 mA

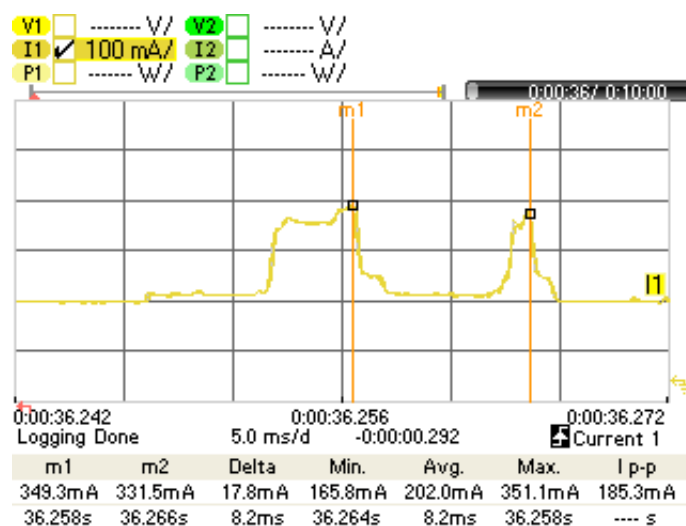


Fig. 4.16 Beacon amb petició ARP i resposta ARP de la STA 2



### 4.3.2 Consum de trànsit multicast

A partir de l'escenari de la Fig. 4.1 les dues STAs reben trames multicast com a trànsit de background, és a dir, les dues STAs no estan subscrites al grup multicast, i per tant no les processen. Per aquestes mesures hem canviat la interfície WLAN de la STA 1 (veure annexos I i II) per una *CISCO® Aironet 350 802.11a/b/g* amb el controlador *Aironet driver (airo\_cs)* de Cisco Systems. Aquest canvi d'interfície respon a la limitació de la implementació del mecanisme PSM a la interfície WUSB600N per rebre MSDUs B/M de *background*. Tot i aquest canvi, no afecta la validesa dels resultats de les proves anteriors.

L'equip (STA externa) connectat a través de la interfície Ethernet de l'AP, s'utilitza com a font, de taxa constant de bits (CBR), per injectar trànsit multicast a la xarxa sense fils per la interfície radio 802.11b/g.

El resultat de la prova de la Fig. 4.17 mostren el consum de la interfície WLAN de la STA 1, en funció del *throughput* normalitzat a 1, respecte la taxa de trànsit multicast de l'AP. Utilitzant les velocitats físiques de 1 Mbps (preàmbul llarg), 5,5 i 11 Mbps (preàmbul curt) de l'estàndard 802.11b i les velocitats físiques de 6, 12 i 54 Mbps que ofereix la modulació de multiplexació per divisió de freqüències ortogonals (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, OFDM), de l'estàndard 802.11g.

Per taxes inferiors al 10% de la capacitat de l'enllaç (o inferiors al 20% en el cas de 1Mbps), les STAs responen al trànsit ofert segons el comportament del mecanisme PSM descrit a 4.3.1.1. A taxes més elevades, per a la STA 1 amb la interfície *Aironet*, hem observat el canvi automàtic de la gestió d'energia, de PSM a CAM. Una implementació de PSM definida a [26] com a PSM dinàmic. Per tant, els resultats que presentem són valors de consum on la interfície es manté permanentment activa.

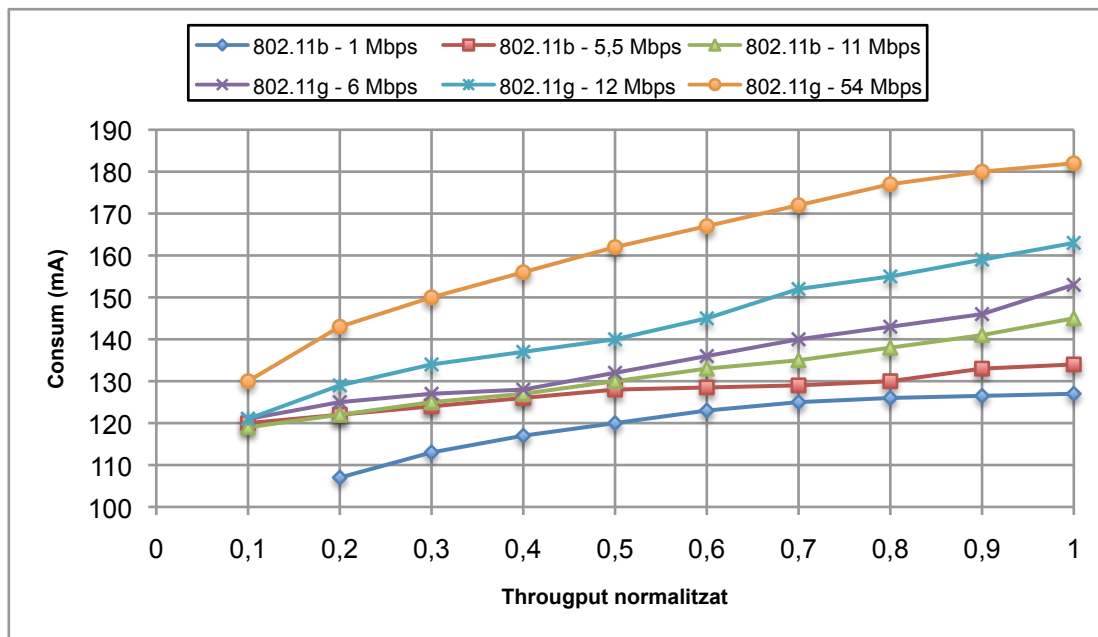


Fig. 4.17 Consum del trànsit multicast a la interfície de la STA 1

A la Fig. 4.17 s'observa una tendència a l'augment del consum en funció de la taxa de trànsit multicast, per qualsevol velocitat física. Per altra banda, tant per 802.11b com per 802.11g augmenta el consum en funció de la velocitat física, per la mateixa taxa de trànsit multicast. Aquesta tendència és més apreciable per a taxes superiors al 50% del *throughput* de l'enllaç. Es comprova a les lectures de l'analitzador de potència, com els pics de corrent tenen un consum associat més gran per velocitats altes.

Aquests resultats contrasten amb els presentats a [28], on s'aconseguia un menor consum a velocitats més grans. Les raons serien el *overhead* dels paquets de 802.11b i la reducció del temps de transmissió. Els nostres resultats per contra, indiquen que les modulacions de 802.11g són més costoses energèticament que les de 802.11b. Pel nostre cas d'estudi es podrien explicar els resultats, degut al cost energètic de codificació convolucional i el nivell de potència de recepció que comporta la capa física 802.11g. Tot i que caldria estudiar les raons amb més detall, però aquests factors estan fora dels objectius principals del projecte.

Les diferències són més destacables per *throughputs* alts de 802.11g respecte 802.11b. La raó és que per velocitats físiques semblants el *throughput* en bits per segon (per aquest mida de trama), en el cas de 802.11g és més alt.

En el cas de la STA 2, s'observa el canvi de comportament pel trànsit *multicast* per a taxes superiors a 147 Kbps definit a la implementació de PSM dinàmic de [26]. Tan en aquesta implementació com en les nostres proves es queda en estat despert fins a rebre el final de dades, moment en què torna a commutar al comportament característic de PSM. Les dades recollides durant les proves de multicast per aquesta STA 2, no han estat incloses als resultats finals degut a la limitació d'alimentació (veure annex I) que no permet obtenir dades de consum mitjà fiables.



## CAPÍTOL 5. ESTUDI DELS VALORS EMPÍRICS DE CONSUM

A partir de les mesures de consum del capítol 3, estudiem el resultat empíric de les STAs. Primer detallem els consums de les interfícies WLAN. Avaluem l'impacte sobre les bateries dels mecanismes d'estalvi d'energia i el trànsit ARP. Comparem el cost energètic de cada procés i del trànsit ARP. A continuació, analitzem el consum del trànsit ARP per obtenir un model analític del consum en funció de les peticions rebudes, corresponent a les característiques i comportaments de les dues interfícies WLAN.

### 5.1 Estudi del consum de les dues STAs

A partir dels valors de consum de la gestió de la mobilitat i del trànsit B/M exposats als apartats 4.2 i 4.3, podem avaluar els consums i l'impacte que tenen les interfícies WLAN sobre les STAs.

#### 5.1.1 Portàtil (STA 1)

A la Taula 5.1 resumeix els consums bàsics obtinguts de la de la STA 1 de la interfície WLAN, WUSB600N de Linksys®.

**Taula 5.1** Consum bàsic de la interfície de la STA 1

Consum <i>idle</i> <sup>9</sup>	80 mA
Consum estat adormit (PSM)	5 mA
Consum de recepció (Rx)	285 mA
Consum de transmissió (Tx)	335 mA

A partir del consum mitjà, en estat operatiu sense activitat, de 1,600 A i la capacitat de la bateria de 5093 mAh que disposa la STA 1, obtenim la durada base de la bateria: 3 hores i 11 minuts. L'augment del consum degut a la connexió de la interfície, activació i associació a un AP, comporta la reducció de la durada de la bateria tal com mostra la Taula 5.2. Disminuint la brillantor de la pantalla al 50% i amb la interfície WLAN desactivada la duració augmenta a 4 hores i 10 minuts.

<sup>9</sup> Estat de consum despert, sense activitat i escoltant el canal.

**Taula 5.2** Impacte de la interfície WLAN sobre la bateria de la STA 1.

Estat		Durada (hores)	Reducció (minuts)	Reducció (%)
Connexió USB		3,08	6,35	3,32
WLAN up		2,89	17,85	9,35
ASSOCIAT	CAM	2,55	38,20	20,00
	FAST	2,78	24	12,57
	MAX	2,82	21,69	11,36
	MAX+UAPSD	2,83	21,22	11,11

Amb la STA 1 associada, cal destacar l'impacte de l'ús de la interfície WLAN en estat permanent d'escolta del canal (estat despert). La durada de la bateria disminueix un 20%, però gràcies als mecanismes d'estalvi d'energia la reducció representa gairebé només la meitat. És a dir, per cada 10 cicles de descarrega completa de la bateria amb PSM (MAX\_PSP) ens estalviem 1 cicle<sup>10</sup> complet de descàrrega amb CAM.

### 5.1.2 Telèfon dual (STA 2)

A la Taula 5.3 resumeix els consums bàsics de la interfície WLAN de la STA 2, a partir del consum base del telèfon i els pics de consum observats durant les mesures de l'apartat 4.2.2.

**Taula 5.3** Consum bàsic de la interfície de la STA 2.

Consum <i>idle</i> <sup>11</sup>	150 mA
Consum estat adormit (PSM)	5 mA
Consum de recepció Rx	185 mA
Consum de transmissió Tx	300 mA

A partir del consum mitjà, en estat operatiu sense activitat, de 145 mA i la capacitat de la bateria de 1050 mAh que disposa la STA 2, obtenim la durada base de la bateria: 7 hores i 30 minuts. Augmentant el consum en funció de la activació de la interfície o l'estat després de l'associació a un AP, obtenim la reducció de la durada de la bateria que mostra la Taula 5.4.

<sup>10</sup> Assumint el mateix consum mitjà per tots els cicles i un ús reduït amb la WLAN.

<sup>11</sup> Estat de consum despert, sense activitat i escoltant el canal.

**Taula 5.4** Impacte de la interfície WLAN sobre la bateria de la STA 2

Estat		Durada (hores)	Reducció (minuts)	Reducció (%)
WLAN up		7,09	24,32	5,41
ASSOCIAT	CAM	3,50	240	53,33
	PSM	6,56	56,25	12,50

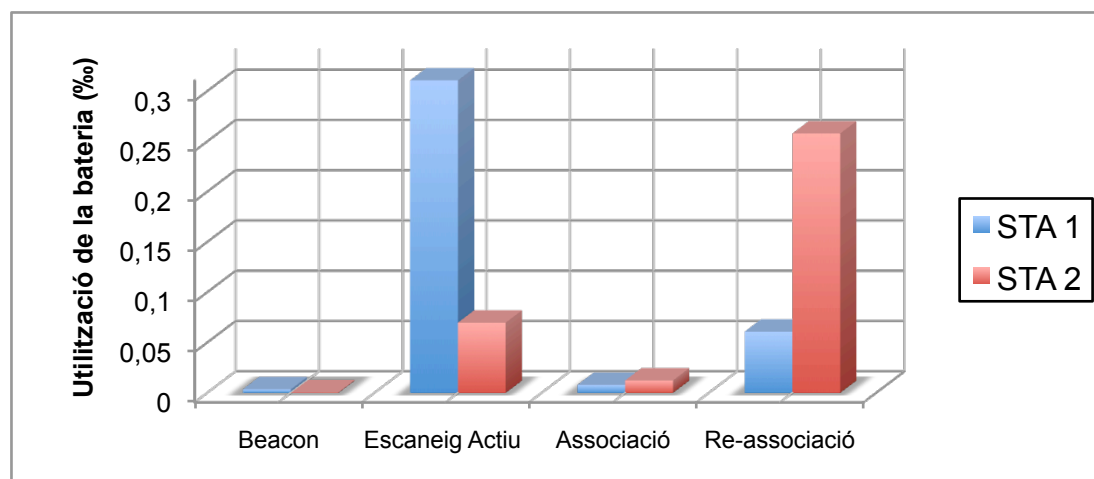
Aquests valors de durada, no coincideixen amb els temps que proporciona el fabricant o els que s'obtindrien amb l'alimentació de la bateria, degut a la limitació d'alimentació de la STA 2 (veure annex I). Tot i això, observem una reducció de 4 hores de la vida de la bateria, per associar-se a una xarxa sense fils (sense trànsit), mantenint l'estat despert permanent. I només una hora de reducció amb el mecanisme PSM. Per tant, per aquest perfil de STA, l'ús del mecanisme d'estalvi d'energia és un recurs clau per incrementar considerablement la seva autonomia.

Cal destacar, l'estalvi d'il·luminació de la pantalla després de 5 minuts d'inactivitat, tenint en compte la limitació d'alimentació i amb la interfície WLAN activada, proporciona un augment de 80 hores respecte el consum base.

En conclusió, la capacitat de la bateria respecte la gestió del consum del maquinari de la STA són determinants per la seva autonomia.

### 5.1.3 Estudi comparatiu de les dues interfícies

Coneguts els valors de consum per a cada interfície WLAN, podem comparar les necessitats energètiques entre les dues interfícies en funció de l'activitat de la STA per gestionar la mobilitat. A la Fig. 5.1, es mostren els valors de utilització d'una sola trama *beacon* o procés, normalitzats en funció de la capacitat de la bateria i en tant per mil (‰).

**Fig. 5.1** Comparació entre STAs de la utilització de la bateria

De totes les accions tractades, observem que la recepció d'una trama *beacon*, corresponent al temps de permanència en estat despert, o el procés d'associació representen un impacte baix a la reducció de la bateria. Aquest impacte seria més important si s'establís un mètode d'autenticació i xifrat de les dades. També afectaria al consum mitjà del procés de re-associació, on l'última fase és l'associació.

En canvi, els processos d'escaneig actiu o re-associacions l'impacte és molt alt; degut principalment als procediments (4.2) de les STAs. Cal destacar que la STA 1 és més eficient en la re-associació que la STA 2, però menys eficient per obtenir la llista de xarxes sense fils disponibles durant tot el procés d'escaneig actiu.

A la Fig. 5.2 definim l'energia utilitzada de cada procés i interfície WLAN de la STA, per comparar el cost energètic entre processos. Observem respecte a la Fig. 5.1 que el consum mitjà base de la STA 1, determina l'ús de la bateria. I l'alt cost energètic per completar el procés de reassociació a la STA 2.

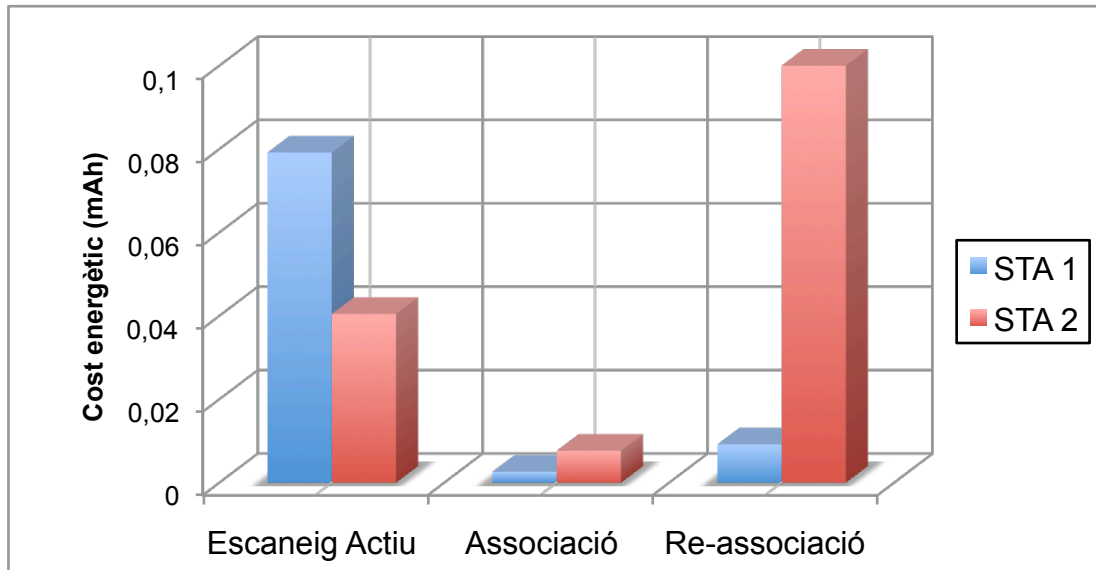
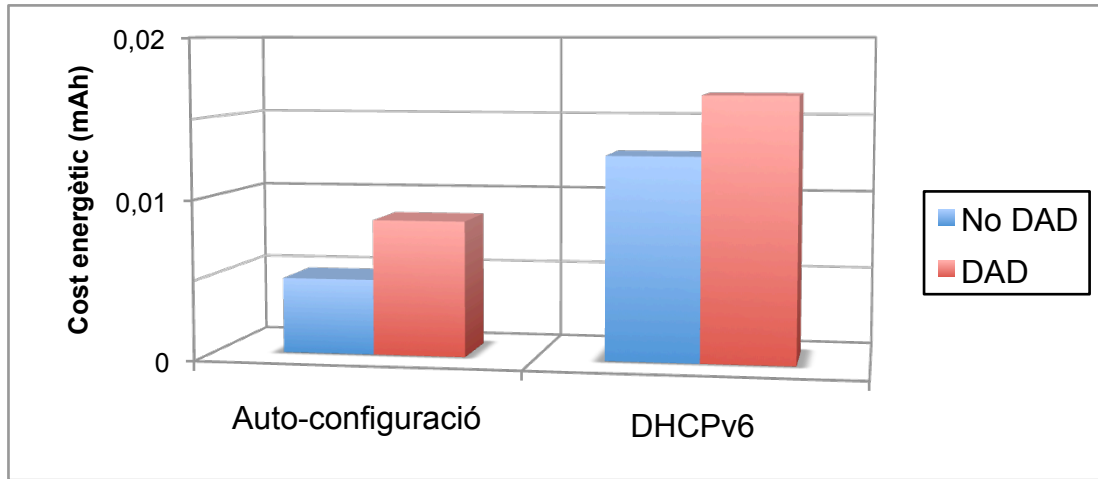


Fig. 5.2 Cost energètic dels processos

## 5.2 Consum associat a la connectivitat

En aquest apartat estudiem el consum associat a obtenir connectivitat a nivell de xarxa. En funció de la implementació dels mètodes exposats a 4.2.1.5, observem el consum mitjà estrictament relacionat amb el procés d'obtenció una adreça IPv6 pel cas de la interfície STA 1. A la Fig. 5.3 mostra la diferència de consum entre els dos mètodes. Aquesta diferència ve donada pel major nombre de missatges intercanviats entre l'AP i la STA en el mètode d'obtenció de IPv6 per DHCPv6 (*stateful*) respecte l'auto-configuració (*stateless*) i el major temps de permanència en estat despert. Són els factors claus perquè el cost energètic de DHCPv6 representi un augment del 350% respecte l'auto-configuració.

Respecte al cost energètic dels processos per obtenir connectivitat a nivell d'enllaç de la Fig. 5.2, observem que l'energia necessària pel mètode d'auto-configuració és equiparable al procés d'associació.

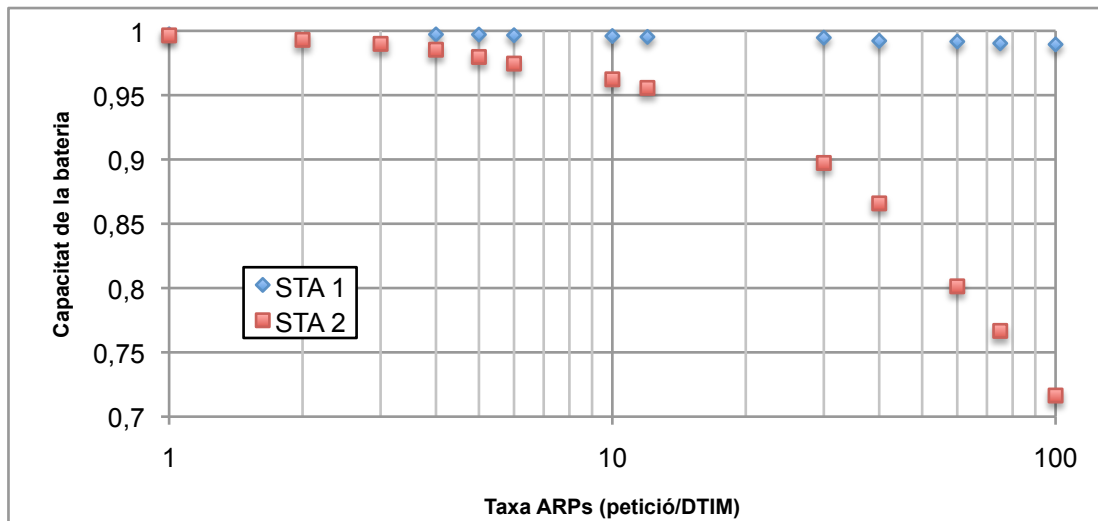


**Fig. 5.3** Comparació entre mètodes d'obtenció d'adreça IPv6

Com hem exposat a 4.2.1.5, l'ús de l'auto-configuració necessita la retransmissió periòdica de missatges RA *multicast*: trànsit que com veurem més endavant provoca un canvi de comportament del mecanisme PSM i augmenta el consum mitjà. Cal doncs, trobar el compromís perquè la periodicitat d'aquests missatges no afecti negativament a la vida de la bateria i, per altre banda, les noves STA's que s'associïn a la xarxa, obtinguin l'adreça el més aviat possible.

### 5.3 Impacte en el consum del trànsit broadcast ARP

En el nostre cas d'estudi hem observat l'impacte que suposa, rebre peticions ARP que no corresponen a l'adreça IP de la STA en qüestió. A la Fig. 5.4 es mostra la reducció de bateria<sup>12</sup> en funció de l'increment de taxa de peticions ARP per les dues STAs, amb els comportaments exposats a 4.3.1.1. I la configuració de l'escenari descrit a l'annex I.



**Fig. 5.4** Reducció de la capacitat de la bateria en funció del trànsit ARP

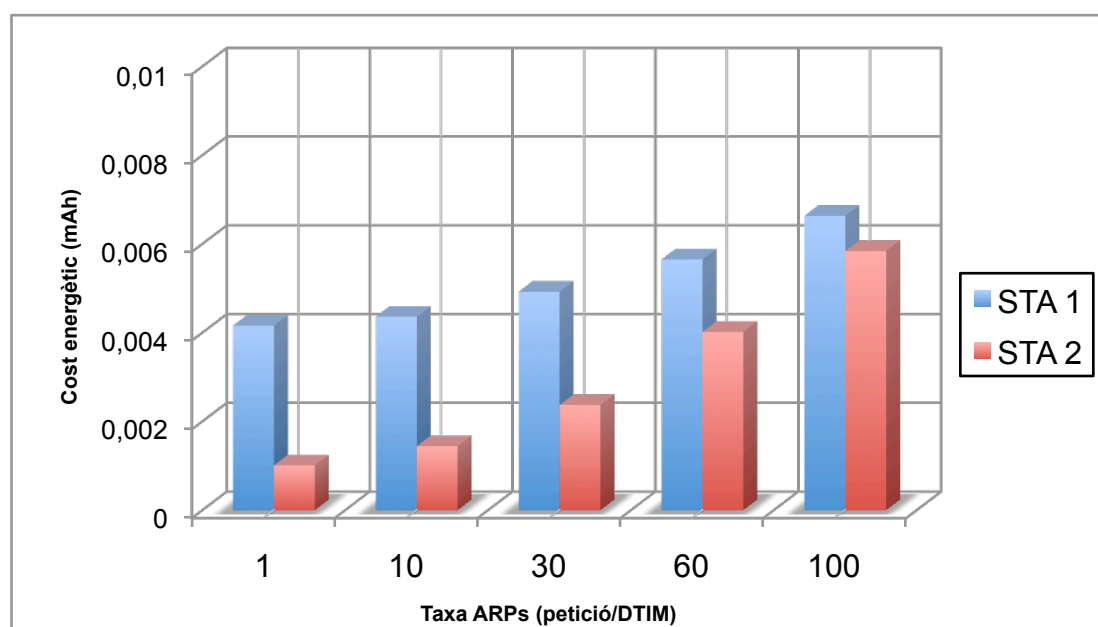
<sup>12</sup> Inicialment la STA associada a un AP sense activitat amb el mecanisme PSM activat.



Tot i que, el comportament de la interfície WLAN de la STA 1 té un consum mitjà en valors absoluts, més elevat que la STA 2, la capacitat de la bateria és un factor clau per mesurar qualitativament l'impacte del consum del trànsit ARP. La reducció de la vida de bateria de la STA 1, és poc notòria respecte, el cas de la STA 2, on disminueix gairebé un 30%, per taxes properes a 100 peticions ARP per DTIM. Tal com s'exposa a [27], el trànsit ARP pot arribar a suposar la reducció al 50% de la bateria per a terminals amb capacitat reduïda, com els telèfons de VoIP. Si es té en compte que alimentem la STA 2 (veure 5.1.2) a 5V, i d'acord amb les mesures empíriques de [17], el valors de intensitat són inferiors a més voltatge. A més, no és comptabilitza el consum de les respostes que pot generar el protocol ARP, amb un cost energètic més alt que les peticions. Per tant, és molt probable arriba a reduir lla meitat l'autonomia de la STA. Aquests resultats justifiquen la recomanació de l'ús del mecanisme Proxy ARP (veure 3.1).

A la Fig. 5.5 es representa el cost energètic d'aquest trànsit *broadcast*, en funció de la taxa de peticions per període DTIM. Valors per qualsevol taxa un ordre de magnitud inferiors respecte el costos definits als subapartats anteriors. Cal notar però, que la freqüència de recepció d'aquestes peticions és més alta que la freqüència dels processos de connectivitat a la xarxa. Per tant, tenen un impacte sobre la duració de bateria més important.

Per altre banda, tot i que els consums específics de la interfície de la STA 1 són lleugerament superiors a la interfície de la STA 2. Observem que el comportament per trànsit B/M de la STA 1 representa un cost energètic molt més elevat per taxes baixes i mitges respecte al comportament de la STA 2.



**Fig. 5.5** Cost energètic degut a les peticions ARP

## 5.4 Resum de consums dels processos de gestió de la mobilitat i trànsit ARP

Finalment recollim tots els resultats analitzats anteriorment a la Taula 5.5, on es relacionen cadascun dels processos o trames amb el cost energètic per a cadascuna de les dues interfícies WLAN. Indiquem per cada STA la capacitat de la bateria.

**Taula 5.5** Resum dels costos energètics

Procés o trama	STA 1 (mAh) [5093 mAh]	STA 2 (mAh) [1050 mAh]
<b>Beacon</b>	0,000450	0,000181
<b>Escaneig Actiu</b>	0,079167	0,040444
<b>Associació</b>	0,002604	0,007656
<b>Re-associació</b>	0,009167	0,100292
<b>Petició ARP/DTIM</b>	0,004156	0,001004
<b>Stateless - Autoconfiguració</b>	0,008577	-
<b>Stateful - DHCPv6</b>	0,016520	-

Per les trames de *beacon* la diferència considerable entre les dos STAs es deu al temps d'escolta previ a la recepció del *beacon*, període on la STA manté l'estat despert. L'energia necessària en el procés d'escaneig actiu, el defineix l'eficiència en genera peticions per cada canal, a la STA 1 els intervals entre trames *Probe Request* son més grans que els utilitzats per la implementació de la interfície de la STA 2. El procés s'associació per la STA 1 és més concís, a la STA 2 espera la recepció del següent beacon per tornar a l'estat adormit. Pel trànsit B/M, el factor que explica la diferència de consum és el comportament exposat a 4.3.1.1, la STA 1 es manté més temps en estat despert. Al procesos d'obtenció d'IPv6, cal recordar que el cost energètic directe és més gran el del mètode de DHCPv6, però l'autoconfiguració necessita la difusió de la trama *multicast* RA. Depenent del interval de transmissió, com trànsit B/M de *background*, genera un consum indirecte a totes les STAs. Tot i que, aquest consum també pot ser atribuïble per certes implementacions del DHCPv6, que també incorporen la trama RA.



## CAPÍTOL 6. MODEL DE CONSUM PER TRÀNSIT ARP

En aquest capítol, desenvolupem una caracterització analítica del consum de interfícies WLAN per cadascuna de les STAs, degut al recepció de trames de peticions ARP, i a partir dels comportaments observats al capítol de mesures empíriques (veure 4.3.1.1). Escollim el trànsit ARP, com a protocol significatiu segons els estudis [24] i [25], i l'anàlisi estadístic de la xarxa de l'EPSC. Finalment estenem els models particulars de cada STA, per obtenir un model de consum general pel trànsit ARP, a partir de les especificacions de consum de qualsevol interfície WLAN.

En aquest model assumim que no hi ha cap petició que tingui per destí la STA, i per tant no hi ha resposta. També assumim una gestió eficient del *buffer* de l'AP, que permet emmagatzemar tot el trànsit B/M sense perdre dades i lliurar les peticions d'acord amb el que estableix l'estàndard IEEE 802.11 amb mecanisme PSM habilitat.

### 6.1 Estudis relacionats

Els estudis [31] i [32] proposen solucions analítiques per obtenir el consum de les interfícies WLAN de STAs. Balasubramanian *et al.* [31] presenta un model de consum senzill per trànsit *unicast* des de l'AP a la STA, a partir de mesures empíriques de telèfons mòbils duals, de característiques semblants a la STA 2. Defineix els consums constants d'associació i escaneig, i en funció del mida i el temps de transferència, obté el consum total. A [32], l'estudi analític és més complex, caracteritza el trànsit *multicast* que emmagatzema l'AP com una cadena de Markov per modelar, amb diferents protocols d'estalvi d'energia, el consum i el seu retard en funció del període de lliurament periòdic. Finalment valida el model a través de simulacions.

Per aquest projecte, l'anàlisi es basa amb els resultats de consum obtinguts durant les proves empíriques. A diferència dels estudis anteriors, el model determina els factors que marquen el consum mitjà a partir dels patrons de comportaments definits a 4.3.1.1.

### 6.2 Anàlisi dels paràmetres comuns

Per a interfícies WLAN 802.11 amb el mecanisme PSM activat per xarxes amb poca activitat<sup>13</sup>, la major part del cost energètic ve determinat pel comportament entre transicions d'estats de consum [15]. L'existència o

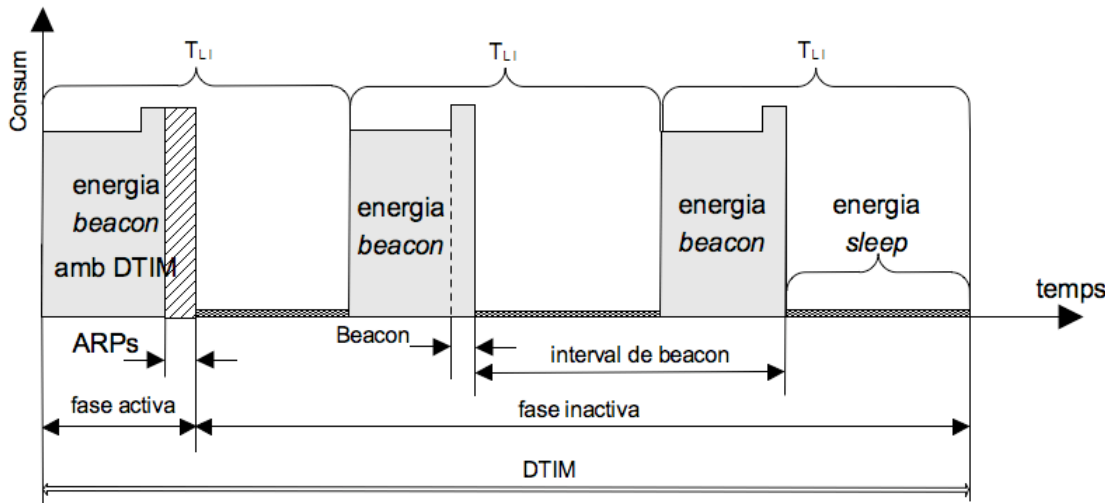
---

<sup>13</sup> Taxes baixes o moderades de trànsit de l'AP cap a les STAs.

augment de la taxa de trànsit *broadcast*, modifica el comportament i conseqüentment incrementa el consum. Per tant, per analitzar el comportament entre transicions d'estats de consum, definim com a marc d'estudi del model, un període DTIM. Per comptabilitzar el consum mitjà durant tot el període generem les expressions a partir l'energia utilitzada en el mateix ( $E_{DTIM}$ ).

Inicialment definim els paràmetres comuns entre les dues STAs observades i a continuació analitzem per separat el comportament de les dues interfícies per adaptar el model que predigui el consum.

El període DTIM consta de  $n$  intervals d'escolta (LI) de durada  $T_{LI}$ . A cada LI es rep un *beacon*. Dividim el període en dues fases: la fase inactiva i la fase activa. A la fase inactiva s'emmagatzemen tot el trànsit B/M al *buffer* de l'AP i a la fase activa es lliura el trànsit B/M. L'esquema de la Fig. 6.1, representa el consum de la interfície WLAN durant el període DTIM. El període DTIM d'exemple està format per tres LI, on al primer, el *beacon* s'indica la presència de peticions ARP i es reben a continuació.



**Fig. 6.1** Període de lliurament (DTIM) de les peticions ARP

L'energia de cada LI consta de la suma de l'energia corresponent a l'estat despert escoltant el canal (idle) i la recepció del *beacon* ( $E_{beacon}$ ), i de l'energia de l'estat adormit ( $E_{sleep}$ ). Aquestes energies són el resultat de multiplicar el temps d'escolta del canal i recepció del beacon ( $T_{beacon}$ ) amb el consum mitjà ( $C_{beacon}$ ), i el temps d'estat adormit ( $T_{sleep}$ ) amb el consum mitjà durant aquest estat ( $C_{sleep}$ ), respectivament. El període on es lliuren les MSDUs B/M del període DTIM, les STAs reben un nombre determinat de peticions ARP per DTIM ( $\lambda$ ). Tot aquest període l'anomenem fase activa i correspon a l'energia de l'estat despert escoltant el canal, la recepció del *beacon* amb indicació de presència de trames B/M a l'AP (amb DTIM) i la recepció de peticions ARP. L'energia es defineix com a  $E_{b-DTIM-a}$  i s'obté de multiplicar el temps de la fase activa ( $T_{b-DTIM-a}$ ) i el consum mitjà ( $C_{b-DTIM-a}$ ).

Obtenim l'energia de les proves empíriques, amb les següents expressions

$$\begin{aligned} E_{b-DTIM-a} &= C_{b-DTIM-a} \cdot T_{b-DTIM-a} \\ E_{beacon} &= C_{beacon} \cdot T_{beacon} \\ E_{sleep} &= C_{sleep} \cdot T_{sleep} \end{aligned} \quad (6.1)$$

### 6.3 Interfície STA 1

A partir de les proves empíriques de 4.3.1.2 i tal com mostra la Fig. 6.2, si la STA 1 rep com a mínim una petició ARP, es manté en estat de consum despert durant tot el  $T_{LI}$ . El temps de recepció de peticions ARP correspon al temps de l'interval de *beacon* ( $T_{BI}$ ). Per tant, si  $T_{LI} = t_2 - t_0$ , en aquest escenari és aproximadament igual a  $T_{BI}$  (que equival al interval de temps  $t_3 - t_1$ ), el temps de la fase activa ( $T_{b-DTIM-a}$ ) es determina per un LI més el temps d'escolta abans de rebre el següent *beacon* i la recepció del *beacon* ( $T_{beacon}$ ) tal com aquí s'expressa

$$\begin{aligned} T_{LI} &= t_2 - t_0 \approx T_{BI} \equiv t_3 - t_1 \\ T_{b-DTIM-a} &= 2 \cdot T_{beacon} + T_{sleep} \end{aligned} \quad (6.2)$$

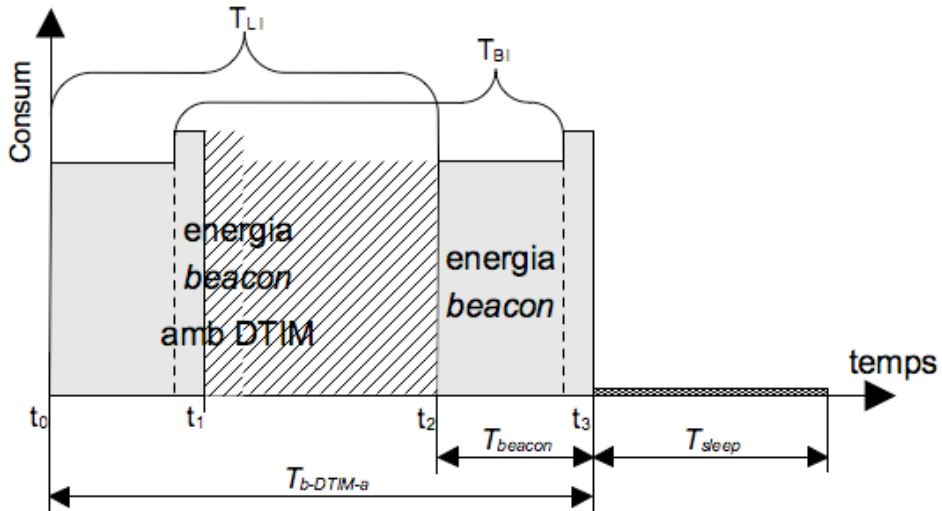


Fig. 6.2 Consum del període DTIM de la STA 1

El canvi de comportament per la presència de peticions ARP ( $\lambda \geq 1$ ), introdueix l'energia de la fase activa ( $E_{b-DTIM-a}$ ). El consum inicial la interfície WLAN ( $C_{b-DTIM-a}$ ) durant el temps  $T_{b-DTIM-a}$  correspon als consum mitjà dels dos *beacons*, el consum mitjà en *idle* i el corresponent al pic de recepció de la petició ARP, inicialment és de 79,6 mA (4.3.1.2). Amb (6.1) i (6.2) obtenim l'energia d'un període DTIM ( $E_{DTIM}$ ), que creix linealment en funció de  $\lambda$  per una constant  $k_1$  de valor 0,000025 mAh/petició ARP

$$E_{DTIM} = \begin{cases} n \cdot (E_{sleep} + E_{beacon}) & \text{si } \lambda = 0, \\ (n-1) \cdot E_{sleep} + E_{beacon} + E_{b-DTIM-a} + k_1 \cdot (\lambda - 1) & \text{si } \lambda > 1. \end{cases} \quad (6.3)$$

Tot i la durada del període DTIM, definida a les proves a 300 ms, el temps màxim de recepció de peticions ARP és  $T_{b-DTIM-a}$  (138 ms) segons 4.3.1.2. Això es tradueix aproximadament en 350 peticions per segon o poc més de 100 peticions per període DTIM. Per a taxes més altes, aquest model deixa de ser vàlid. El comportament observat per la interfície WLAN de la STA 1 (WUSB600N), genera pèrdues (veure 4.3.2) o commuta a CAM, en funció de si el trànsit B/M l'ha de processar o és de *background*.

Fig. 6.3 es compara el consum de la interfície entre els valors analítics i els empírics, en funció de la taxa de peticions ARP per període DTIM (dins el rang de peticions observades al estudi estadístic de l'EPSC). Observem que el model respon a les mesures empíriques, amb un error màxim de linealitat del 2,405 %.

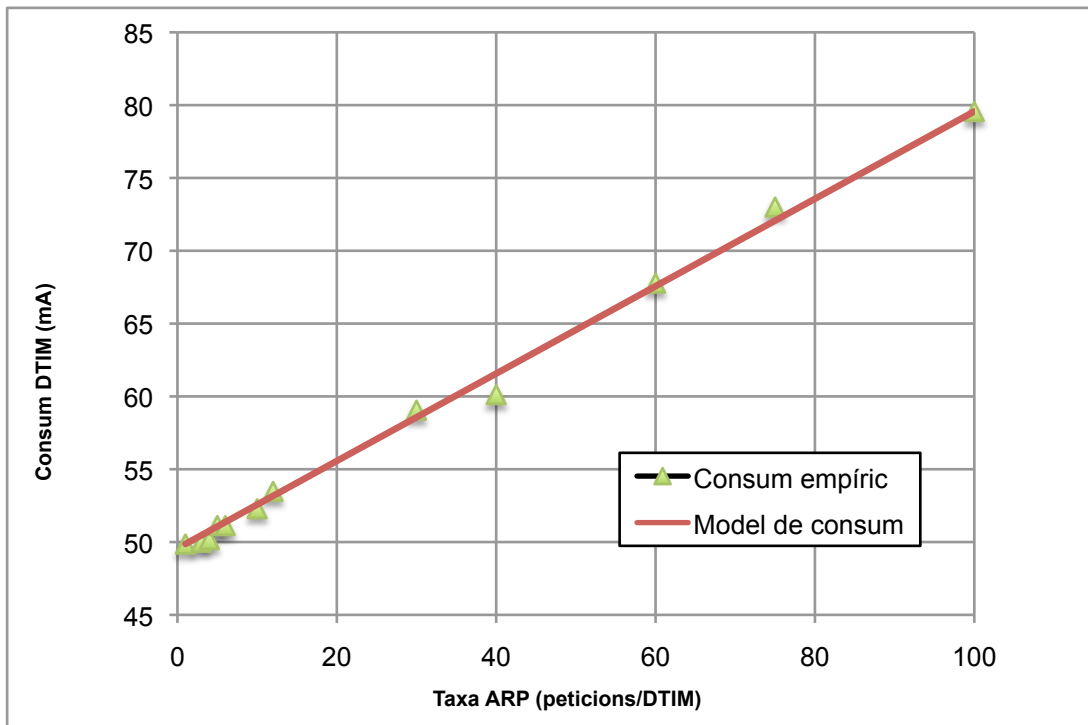


Fig. 6.3 Consum de la STA 1 en funció de la taxa de peticions ARP

## 6.4 Interfície STA 2

L'anàlisi de la interfície WLAN de la STA 2, és més complex que el cas anterior, a causa de la variació del temps de permanència entre estats de consum. A la Fig. 6.5 es mostra l'esquema inicial d'un període DTIM de dos intervals de *beacon* on es reben peticions ARP.

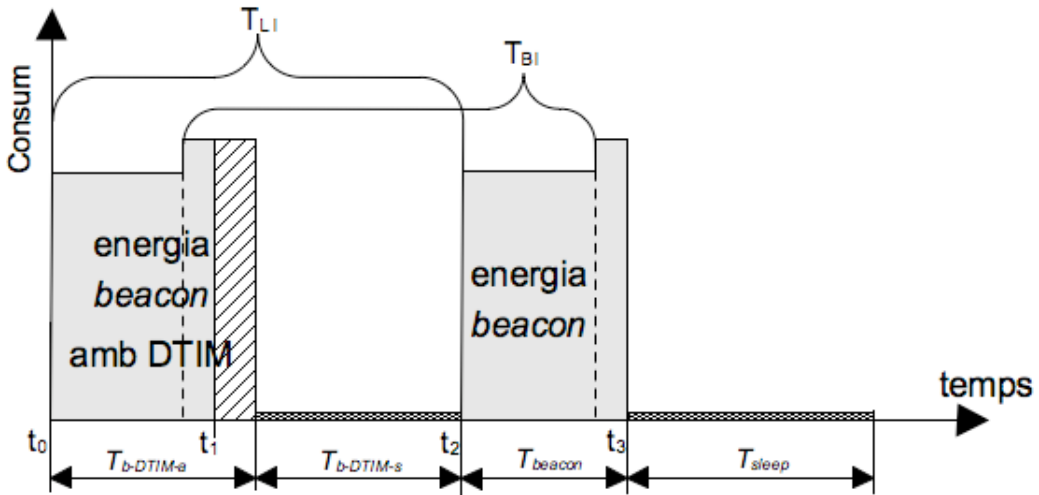


Fig. 6.5 Consum del període DTIM de la STA 2

Per aquest comportament el temps de la fase activa ( $T_{b-DTIM-a}$ ) s'inicia per  $\lambda=1$ , on resulta el temps de *beacon* ( $T_{beacon}$ ) més el temps de recepció de la petició ARP. A partir d'aquest instant, el temps de l'estat adormit ( $T_{sleep}$ ) comença a disminuir, aleshores el definim com a  $T_{b-DTIM-s}$ , de manera que

$$\begin{aligned} T_{LI} &= T_{beacon} + T_{sleep} = T_{b-DTIM-a} + T_{b-DTIM-s} \\ T_{beacon} &< T_{b-DTIM-a} \quad , \quad T_{sleep} > T_{b-DTIM-s} \end{aligned} \quad (6.4)$$

A les proves empíriques  $E_{b-DTIM-a}$  augmenta linealment per taxes inferiors 90 peticions ARP/DTIM amb una pendent  $k_{beacon\_1} = 0,00005$  mAh/petició ARP. Per taxes superiors, la fase activa s'incrementa fins a l'estat despert previ a la recepció del següent *beacon*. A partir d'aquest punt, augmenta linealment fins arribar a  $2 \cdot T_{beacon} + T_{sleep}$ , a la vegada que disminueix l'energia del següent *beacon* amb una pendent de  $k_{beacon\_2} = 0,000014$  mAh/petició ARP. Amb (6.1) obtenim les energies de la següent formula



$$E_{b-DTIM-a} = E_{beacon} + k_{beacon\_1} \cdot \lambda \quad (6.5)$$

El fet lliurar més peticions, allarga el temps de la fase activa ( $T_{b-DTIM-a}$ ), i a partir de (6.4), el temps  $T_{b-DTIM-s}$  disminueix linealment també en funció de  $\lambda$ , amb una pendent de  $k_{sleep} = 0,00000136$  mAh/petició ARP. Obtenim la següent expressió

$$E_{b-DTIM-s} = E_{sleep} - k_{sleep} \cdot \lambda \quad (6.6)$$

Substituint (6.5) i (6.6) a (6.7), obtenim l'energia total del DTIM en funció de la taxa  $\lambda$ . Per la fase activa inferior o igual al LI, i fins a completar el temps de l'interval de *beacon* tenim

$$E_{DTIM} = \begin{cases} (n-1) \cdot (E_{sleep} + E_{beacon}) + (E_{b-DTIM-a} + E_{b-DTIM-s}) & \text{si } T_{b-DTIM-a} \leq T_{LI} \\ (n-1) \cdot E_{sleep} + E_{beacon} + (E_{beacon} - k_{beacon\_2} \cdot \lambda) + E_{b-DTIM-a} & \text{si } T_{LI} \leq T_{b-DTIM-a} < T_{LI} + T_{beacon} \end{cases} \quad (6.7)$$

A la Fig. 6.6 observem que el model s'aproxima a les mesures empíriques, amb un error màxim de linealitat és del 3,476 %.

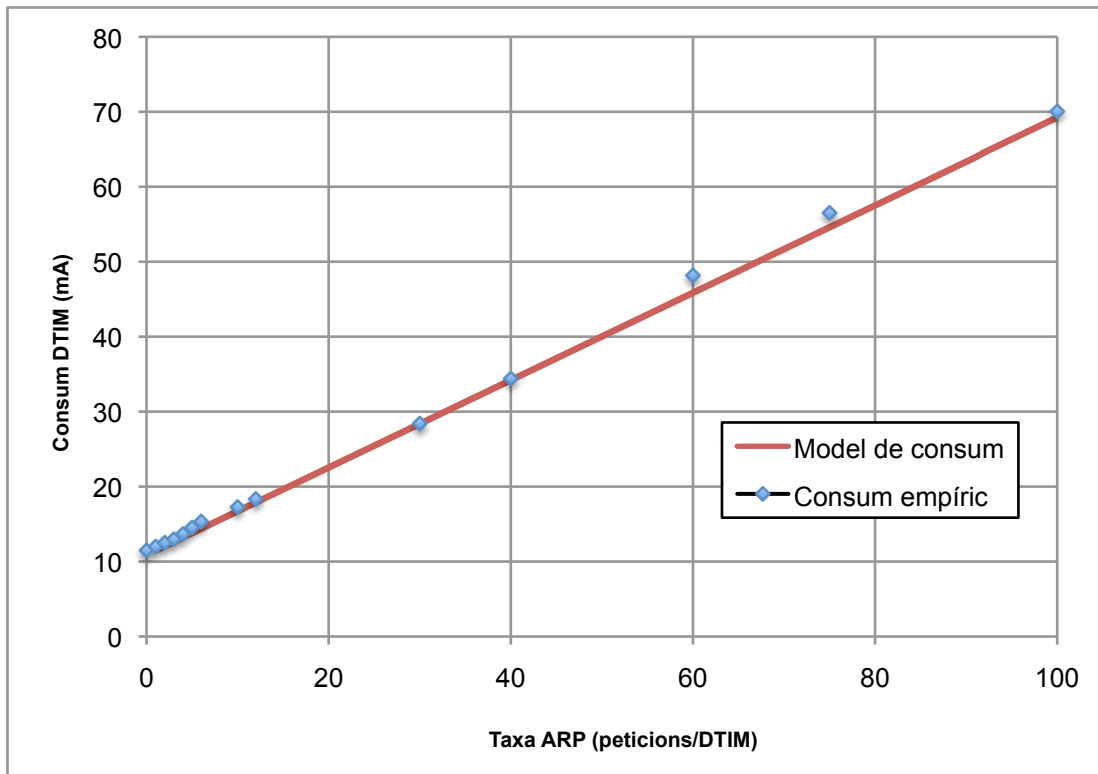


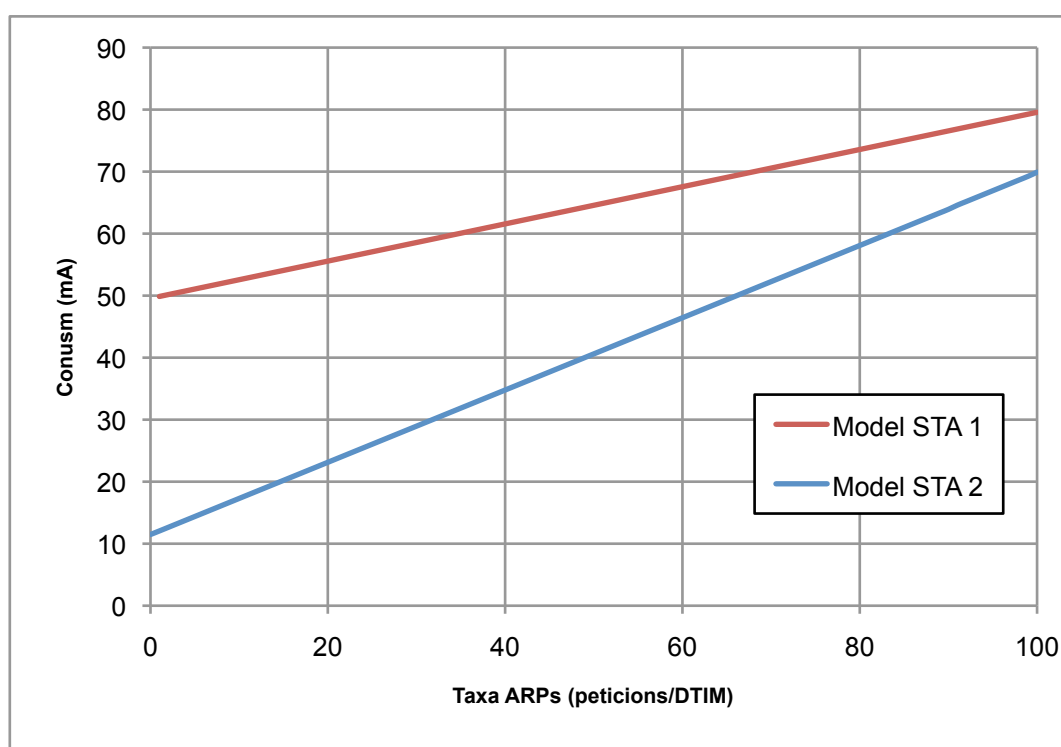
Fig. 6.6 Consum de la STA 2 en funció de la taxa de peticions ARP

A les proves empíriques, per taxes superiors a 100 peticions ARP/DTIM, la STA 2 commuta al mode d'energia CAM, on aquest model de consum per PSM deixa de ser vàlid.

## 6.5 Generalització del model de consum per trànsit ARP

A partir dels dos comportaments observats a les interfícies WLAN amb el mecanisme PSM activat, generalitzarem el cost energètic, d'una interfície WLAN qualsevol, degut al trànsit B/M durant el període DTIM.

Comparant els dos models, analitzats al subapartat anterior, la interfície de la STA 2 manté l'estat adormit durant més temps per taxes baixes de peticions ARP. Observem a la Fig. 6.7 com aplicant el model amb el comportament de la interfície de la STA 2 a la STA 1, gestiona millor el consum durant la fase activa, amb un menor consum per taxes inferiors a 80 peticions ARP per DTIM.



**Fig. 6.7** Comparació del consum de les dues interfícies amb els seus models

Per tant, per tal de minimitzar l'impacte del trànsit ARP (*broadcast*), la generalització del model es basa en el comportament energèticament més conservador, implementat a la interfície de la STA 2.

Considerem els consums, d'una interfície WLAN activada i associada, en funció de l'estat de consum i la seva activitat. Els paràmetres genèrics coneguts són; els consums de recepció ( $C_{rx}$ ), *idle* ( $C_{idle}$ ) i adormit ( $C_{sleep}$ ).

Definits a les especificacions de la interfície. Normalment  $C_{rx} > C_{idle} \gg C_{sleep}$ . Si no hi ha trànsit B/M, a partir del marc d'anàlisi del període DTIM, tenim en compte que el consum serà

$$E_{DTIM} = n \cdot E_{LI} = C_{idle} \cdot T_{idle} + C_{rx} \cdot T_{rx} + C_{sleep} \cdot T_{sleep} \quad (6.8)$$

on  $T_{idle}$  és el temps mitjà en *idle* escoltant el canal,  $T_{rx}$  és el temps mitjà de recepció d'una trama B/M i  $T_{sleep}$  és temps mitjà en estat adormit o *sleep*. Anàlogament l'energia d'un DTIM ( $E_{DTIM}$ ) ve donada per l'energia dels  $n$  intervals d'escolta. Un LI inclòs a la fase inactiva (no rep peticions ARP), l'energia de recepció ( $C_{rx} \cdot T_{rx}$ ) correspon a la recepció del *beacon* ( $E_{beacon}$ ).

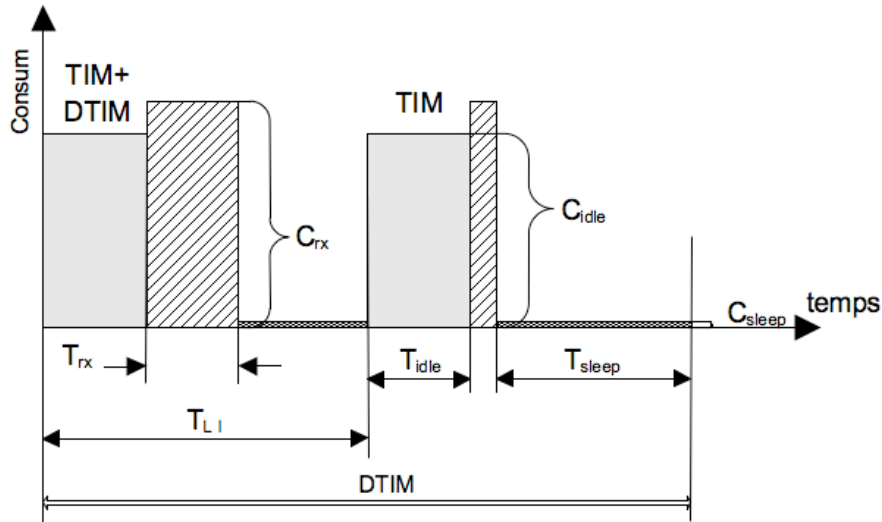


Fig. 6.8 Esquema de consum del període DTIM

A la Fig. 6.8 es mostra la representació dels paràmetres genèrics, associats al comportament detallat a 6.2., per un període de DTIM de dos intervals de *beacon*. Durant la fase activa, la recepció de peticions ARP augmenta el temps de recepció i disminueix el temps de l'estat adormit. Així obtenim  $T_{sleep}$  en funció de la taxa de peticions ARP

$$T_{sleep} = T_{LI} - T_{idle} - \lambda \cdot T_{rx} \quad (6.9)$$

on  $T_{rx}$  és defineix com el temps mitjà de recepció d'una petició ARP o d'un *beacon* i s'expressa com

$$T_{rx} = t_{preàmbul} + \frac{(8 \cdot L)}{R_{f(v)}} \quad (6.10)$$

on  $t_{preàmbul}$ ,  $L$ , i  $R_{f(v)}$  són el temps de transmissió del preàmbul curt, la longitud de la trama en *bytes* i la velocitat física respectivament. Tal com hem exposat a 4.3.2 la velocitat física i la modulació influeix en el consum final, a la Taula 6.1 es mostra la modulació i velocitats associades a cada valor  $v$ .

**Taula 6.1** Mapatge del valor  $v$  i les velocitats físiques més habituals

$v$	802.11b (Mbps)	802.11g (Mbps)
1	1	-
2	-	2
3	5,5	-
4	-	6
5	11	-
6	-	12
7	-	54

A partir de les expressions (6.7) i (6.8), definim l'energia del període DTIM, com la suma de l'energia de  $n-1$  intervals d'escolta, més l'energia del LI on es lliuren les peticions ARP i l'expressem com

$$E_{DTIM} = \begin{cases} (n-1) \cdot E_{LI} + C_{idle} \cdot T_{idle} + E_{beacon} + C_{rx} \cdot \lambda \cdot T_{rx} + C_{sleep} \cdot (T_{sleep} - \lambda \cdot T_{rx}) & \text{si } T_{rx} \leq T_{sleep} \\ (n-1) \cdot E_{LI} + E_{beacon} + C_{rx} \cdot \lambda \cdot T_{rx} + C_{idle} \cdot (T_{idle} - \lambda \cdot T_{rx}) & \text{si } T_{sleep} < T_{rx} \leq (T_{sleep} + T_{idle}) \end{cases} \quad (6.11)$$

La funció continua de (6.11) es divideix en dues parts. Si el temps de recepció és inferior al temps de l'estat adormit, l'energia de recepció augmenta, a la vegada que disminueix l'energia en estat adormit. I si el temps de recepció és superior al temps de l'estat adormit i inferior al valor del temps mitjà d'un LI, augmenta l'energia de recepció amb la taxa  $\lambda$  i disminueix l'energia en estat despert escoltant el canal.

Aplicant el model general amb les especificacions de consum de les dues STAs (veure 5.1.1 i 5.1.2). Obtenim el consum per període DTIM que mostra la Fig. 6.9. On, en aquest cas, els consums específics de les interfícies; en estat *idle* de la STA 1, i tots els de la STA 2, són empírics. Ja que no disposem del *datasheet*.

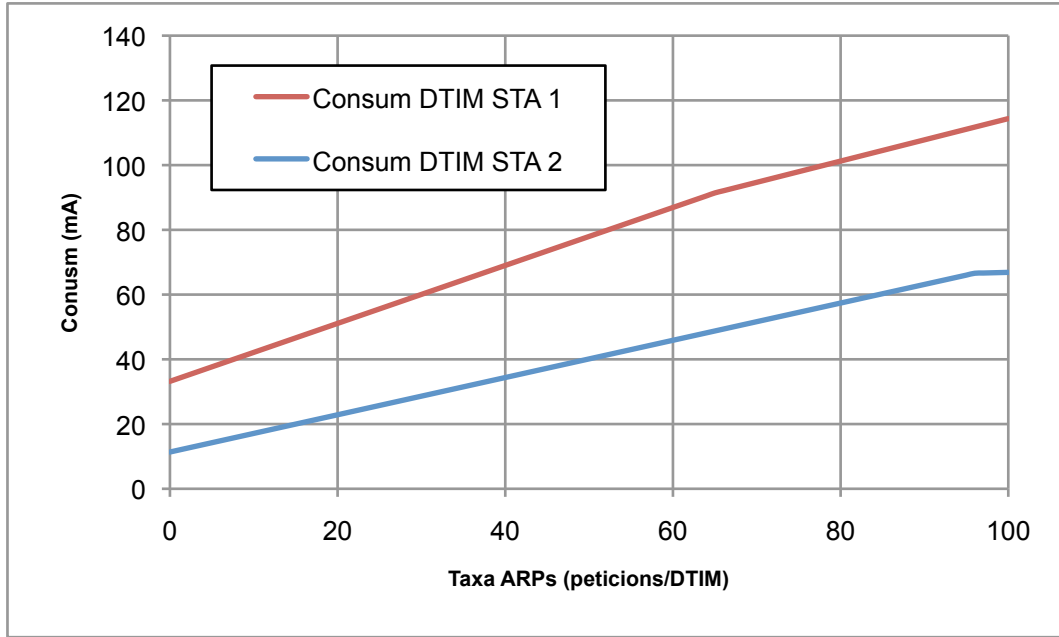


Fig. 6.9 Comparació del consum entre les dues STAs, aplicant el mateix model

Per taxes més grans de les representades, el temps necessari per rebre més *peticions* ARP és més gran que el valor màxim de temps de la fase activa. I a partir del següent *beacon* la interfície commuta de PSM a CAM i aquest model deixa de ser vàlid.

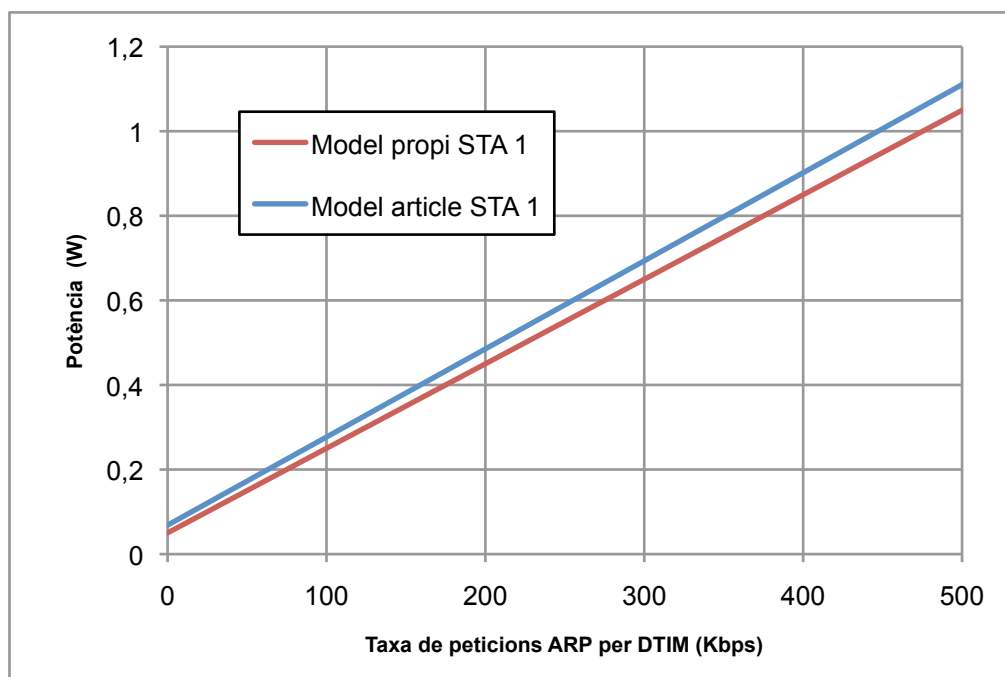
## 6.6 Aplicació i contrastació del model

A la Fig. 6.10 comparem amb la mateixa STA, els resultats de consum del model presentat i el model de l'article [32]. Adaptem la taxa de peticions ARP a Kilobits per segon i el període de lliurament de trànsit B/M a un interval de *beacon* (DTIM igual a 1), per ajustar al model de l'article. De la mateixa manera expressem el resultat de consum en watts, tal com especifica el model, per generalitzar el consum independentment del voltatge necessari per la interfície. D'altra banda, el model de l'article determina el consum en funció de l'arribada de MSDUs i el vector de probabilitats estacionàries de la cadena de Markov. Però per simplificar el procés de comparació dels dos models, utilitzem la taxa de peticions, tal com hem expressat al nostre model.

La taxa en Kilobits per segon la definim com el nombre mitjà de peticions ARP a través de la següent equació

$$\bar{\lambda} = \frac{R_{f(v)} \cdot T_{DTIM}}{8 \cdot L} \quad (6.12)$$

on  $T_{DTIM}$  fa referència al temps del període DTIM i  $L$  a la mida del paquet. Possiblement sabent els valors de les probabilitats estacionàries dels estats de la cadena de Markov, el temps mitjà de recepció i en estat *idle* que defineix l'article serien menors, i el consum mitjà seria lleugerament inferior al del nostre model. Tot i això, observem que els resultats dels dos models són molt semblants.

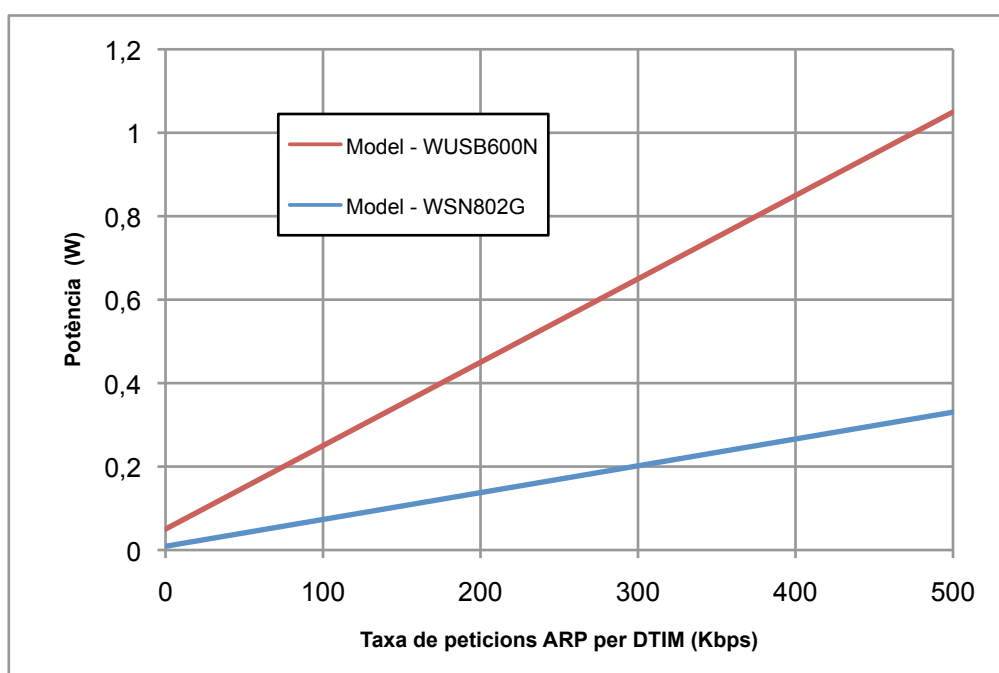


**Fig. 6.10** Comparació dels models per la interfície WLAN de la STA 1

Entre les característiques dels dos models destaquem les següents diferències:

- El model de l'article limita la fase activa al LI. Assumint que la recepció del *beacon* es produeix instantàniament després de la transició d'estat adormit a despert. Les proves empíriques demostren que a l'inici del LI la STA passa a estat despert un temps prudencial abans de la recepció del *beacon*. Aquest consum en estat despert el compensa amb un pic de consum anomenat de transició. De fet, representa gairebé un 90% del consum d'escolta del canal, segons el comportament de la STA 2. Tot i això, l'alt consum que representa el pic de transició no s'ha observat a cap de les proves empíriques de qualsevol STA.
- Per altre banda el nostre model no té en compte el temps de *backoff* amb un consum *idle* associat ( $C_i$ ). En escenaris amb més STAs i més trànsit, pot ser un factor de consum important i un limitador de la taxa. Però al nostre escenari de proves sols hi havia associades les dues STAs.

Per tal d'observar la resposta del nostre model a partir de les especificacions de consum que ens proporcionen les interfícies WLAN comercials. A la Fig. 6.12, representem els resultats d'aplicar el model de consum general a dues interfícies WLAN, de característiques de consum diferents. La interfície WUSB600N és la utilitzada a la STA 1, amb els paràmetres de consum de 5.1.1 a  $5 V_{cc}$ . I la interfície WSN802G [33], correspon a un sensor WLAN IEEE802.11b (velocitats de 1 i 2 Mbps) de baix consum ( $8 \mu A$  en estat adormit i  $150 mA$  en recepció) alimentat a  $3 V_{cc}$ .



**Fig. 6.12** Consum de dues interfícies WLAN comercials

Aplicant el nostre model, observem com la diferència de consum mitjà entre les interfícies augmenta en funció de la taxa de peticions ARP. A la interfície WSN802G, per taxes altes amb DTIM=1, consumeix un 30% menys respecte la interfície WUSB600N. Podem concloure que el factor determinant al consum mitjà en aquest cas és el consum de recepció, on el nivell de potència es duplica per la interfície WUSB600N.

## CAPÍTOL 7. CONSUM ASSOCIAT A LA GESTIÓ DE LA MOBILITAT

En aquest capítol donem una visió global del cost energètic de la gestió de la mobilitat d'una STA amb mecanisme d'estalvi d'energia PSM, a partir dels processos d'escaneig, associació i obtenció de IPv6. S'assumeix un consum base constant (B) relatiu a la STA, tots els valors que es tracten són relatius a l'energia consumida per la interfície WLAN. Finalment es compara aquest cost amb l'obtingut en el capítol anterior pel cas del trànsit ARP.

### 7.1 Modelat de la gestió de la mobilitat

L'estudi [31] proporciona al model empíric un valor d'escaneig i associació fixe de 1,63 mAh, sense descriure la metodologia i els consum específics dels processos. Per altre banda, al TFC [4], es descriu un model teòric en base al consum derivat de la despesa energètica durant la transmissió i recepció de les trames, a partir de les especificacions de consum.

Els resultats de les nostres mesures empíriques indiquen valors molt inferiors, als processos d'escaneig i associació, respecte l'estudi [31] dels processos que intervenen a la gestió de la mobilitat a les dues STAs. Pel que fa el model teòric [4] els valors que presenta per les especificacions de consum de la interfície de la STA 1, son lleugament inferiors als obtinguts. Tot i que la transmissió i recepció de trames observades a les proves coincideix, els temps corresponents a cada trama o els temps de les fases de cada procés, no corresponen als temps identificats a les lectures de variació de corrent. Aquest fet pot ser degut als temps de processament o temps de *backoff*, que no es contemplen model teòric o els temps d'espera definits al model no s'ajusten a la realitat.

En aquest apartat caracteritzem el cost energètic dels processos de gestió de la mobilitat, en base als resultats empírics de la STA 1 (veure 4.2.1), exposats a la Taula 7.1. Per cada procés indiquem el cost energètic total i es desglossen les fases que el comprenen. Pel cas de l'escaneig actiu, només considerem la primera fase, ja que la prova empírica comporta un processat de la informació extraordinari derivat del procés de generació i mostra del llistat d'APs per pantalla. Cal notar que el procés d'associació correspon a la vegada a una de les fases de consum del procés de re-associació. Pels processos d'obtenció d'IPv6, s'ha optat per incloure el consum derivat del mecanisme de DAD. L'ús d'aquest mecanisme ve donat pel RFC 4862.



**Taula 7.1** Cost energètic dels processos de gestió de la mobilitat

Procés	Energia total (mAh)	Energia per fases (mAh)	
Escaneig Actiu	0,026489	Considerem només la primera fase (4.2.1.2)	
Associació	0,002604	Prova del canal	0,001128
		Autenticació	0,001486
Re-associació	0,009222	Desautenticació	0,000708
		Escaneig actiu <sup>14</sup>	0,003167
		Inactivitat	0,001667
		Associació	0,002604
Stateless - Autoconfiguració	0,008577	Inclou la fase del mecanisme de detecció d'adreces duplicades (DAD)	
Stateful - DHCPv6	0,016520		

A partir de les energies de cada procés obtenim les següent expressions. Corresponent al cost energètic del traspàs entre APs ( $E_{Traspàs}$ ), es considera la suma de l'energia de l'escaneig actiu ( $E_{EscaneigActiu}$ ) més l'energia necessària per l'associació ( $E_{Associació}$ ). Pel procés de re-associació entre dos ESSIDs, es considera l'energia de la re-associació ( $E_{Re-associació}$ ), més l'energia d'un dels dos mètodes per obtenir l'adreça IPv6, per autoconfiguració ( $E_{Stateless}$ ) o DHCPv6 ( $E_{Stateful}$ ). Així tenim

$$E_{Traspàs} = E_{EscaneigActiu} + E_{Associació} \quad (7.1)$$

$$E_{Re-associació} + (E_{Stateless} \parallel E_{Stateful})$$

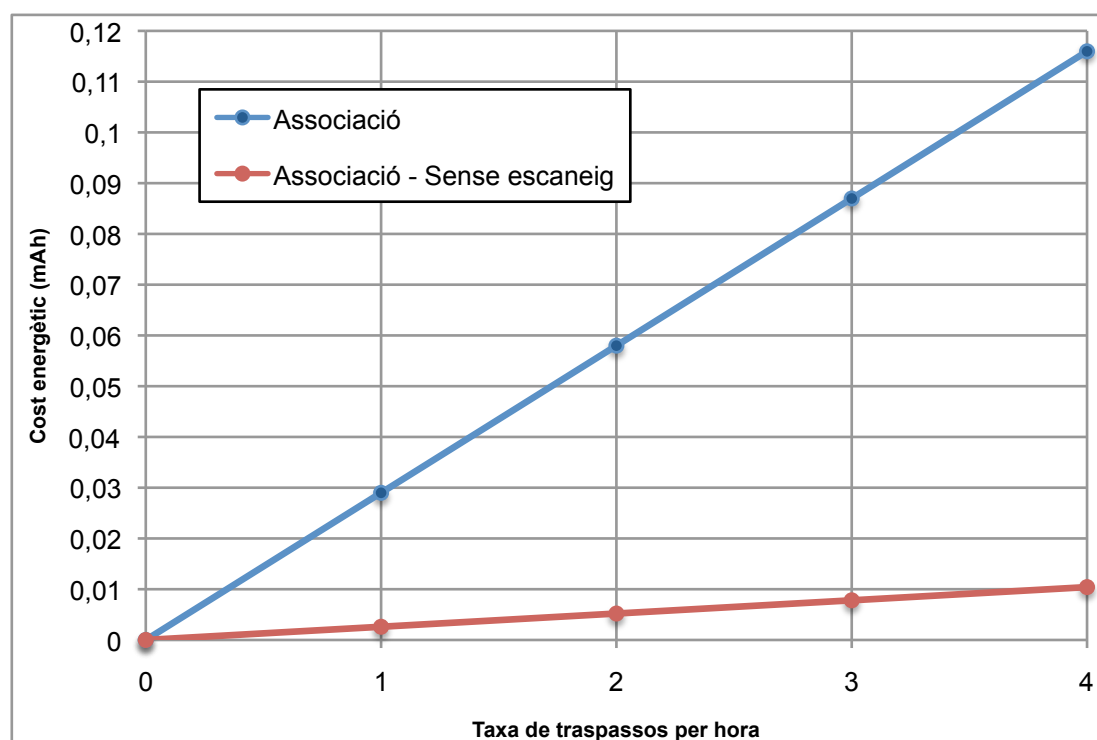
Les xarxes WLAN 802.11 permeten que els usuaris amb les seves STA es moguin. En entorns domèstics tendeixen a romandre associats gairebé sempre al mateix AP. Però en escenaris amb un ampli desplegament de xarxes sense fils (campus, congressos, ...), estudis empírics de mobilitat [34] i [35] demostren que el 80% dels usuaris s'associen a més d'un AP diàriament. I degut a l'aparició i utilització de dispositius IEEE802.11 més petits, portables i permanentment encesos, un usuari durant el transcurs de la jornada arriba a associar-se en mitja a 4 APs diferents per jornada.

<sup>14</sup> Només als canals actius

A partir dels estudis de mobilitat definim un rang de traspassos o re-associacions per hora, que ens permetin analitzar el consum per casos de baixa mobilitat d'acord amb la mitjana de traspassos i per casos d'alta mobilitat, estadísticament minoritaris. Establim aquest rang en quatre traspassos o re-associacions per hora.

### 7.1.1 Traspassos

Les proves empíriques dels processos d'escaneig i associació de la STA 1, ens proporcionen el cost energètic del procés de traspàs a una xarxa WLAN, tal com mostra la Fig. 7.1. En funció del nombre de traspassos per hora, i si es realitza un procés d'escaneig actiu complet per a tots els canals abans del procés d'associació, o per contra es produeix el traspàs directament sense escaneig.



**Fig. 7.1** Cost energètic en funció dels processos de traspàs per hora, a la STA 1

Com es pot observar, l'alt cost del procés d'escaneig, representa el 90% de l'energia del traspàs. El comportament de la STA 1 davant l'escaneig actiu, provoca un desgast energètic durant un temps alt (0,9 - 1 segon) respecte al mateix procés observat per la STA 2 (0,6 - 0,8 segons). Aquest és el factor clau perquè provoqui una desviació del cost energètic tant important sobre l'associació durant el traspàs.

### 7.1.2 Re-associacions

D'altra banda, pels processos de re-associació, a la Fig. 7.2 es mostra l'energia necessària, tenint en compte el procés d'obtenció d'una IPv6, a través de l'auto-configuració (*stateless*) o per DHCPv6 (*stateful*). En funció de les re-associacions produïdes durant un hora.

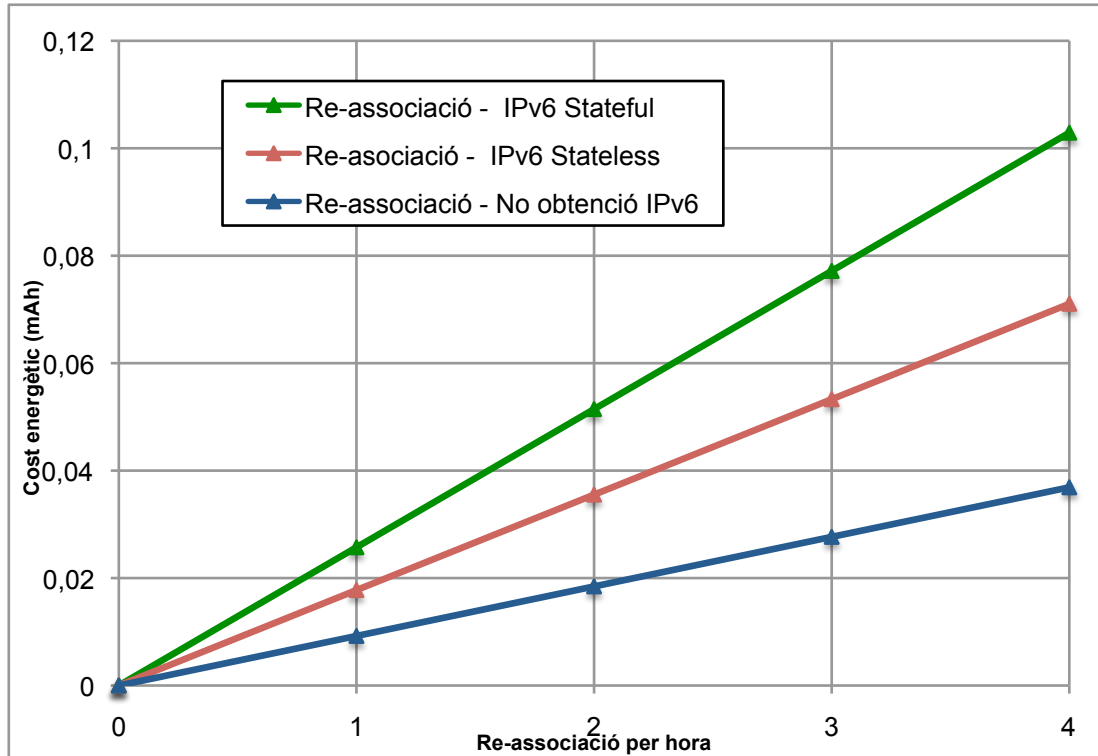


Fig. 7.2 Cost energètic en funció de les re-associacions per hora, a la STA 1

Dels resultats que mostra la gràfica, es determina que el cost energètic total, amb el mètode *stateful* (màxim consum), és inferior a l'energia utilitzada durant el traspàs amb escaneig actiu. Tot i ser el procés de re-associació més complex, intervenen més fases de consum, el fet de reduir la fase d'escaneig als canals actius, disminueix el temps de transmissió i recepció, i millora la eficiència energètica d'un procés d'escaneig actiu complet.

Per tant, sabent que el procés de re-associació sempre té un cost associat més elevat que l'associació, sigui quin sigui el mètode d'obtenció d'IPv6, la implementació l'escaneig actiu durant un procés íntegre de traspàs ha de respondre a un comportament similar al de la re-associació. A partir d'un escenari diferent al presentat, caldria ajustar les proves per obtenir el comportament real de la STA 1.

## 7.2 Comparació dels consums de mobilitat i trànsit ARP

Al capítol 6, hem modelat el consum del trànsit ARP en base al cost energètic de la recepció de trames durant un sol període DTIM. Si a partir d'aquests resultats calculem el cost durant una hora, observem la diferència energètica entre la gestió de la mobilitat i el trànsit B/M. Utilitzarem la següent expressió per determinar el cost energètic de la recepció de trànsit ARP durant una hora.

$$E_{DTIM}(\lambda) \cdot n_{DTIM} / \text{hora} \quad (7.2)$$

on  $E_{DTIM}(\lambda)$  és l'energia del període DTIM en funció de la recepció de peticions ARP, i  $n_{DTIM} / \text{hora}$  el nombre de període de DTIM que conté una hora.

Suposant una taxa constant de peticions ARP durant una hora amb un període DTIM de tres intervals de *beacon* de 100 ms. Obtenim els resultats que exposa la Fig. 7.3. aplicant el model general de trànsit ARP (veure 6.5).

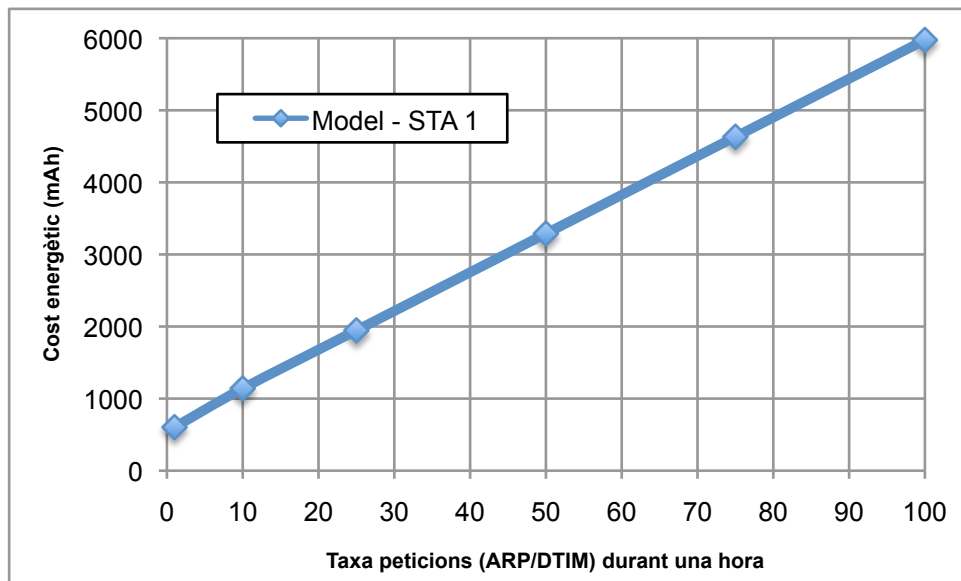


Fig. 7.3 Cost energètic de la taxa de peticions ARP/DTIM durant una hora

Per taxes baixes el cost energètic durant una hora, només de la interfície WLAN, suposa gairebé el 50% de la capacitat de la bateria de la STA 1. Per taxes mitges i altes, comptabilitzant el consum base B (1805 mAh), la durada d'aquesta bateria de 5093mAh, es reduiria a menys d'una hora.

En conclusió, comparant els consums de qualsevol procés de mobilitat, el trànsit ARP constant, i per extrapolació el trànsit B/M constant, té un impacte molt més important en la vida de la bateria, encara que es produeixin canvis d'AP amb una alta freqüència.



## CONCLUSIONS

### 8.1 Fases del projecte i resultats obtinguts

L'objectiu d'aquest projecte era realitzar un estudi dels valors de consum empírics de dispositius mòbils en xarxes IEEE802.11, mesurant el consum dels processos relatius a la gestió de la mobilitat i del trànsit B/M, per a STAs amb bateries de capacitat reduïda. Tot això per caracteritzar posteriorment els factors que determinen el cost energètic i finalment definir un model de consum general.

Inicialment, per obtenir la màxima eficiència energètica de la STA, s'han exposat els mecanismes existents d'estalvi d'energia de l'estàndard IEEE802.11; com el PSM, el UAPSD, el FBMS i el PSMP. S'han definit els funcionaments, els comportaments de canvi d'estat de consum i les avantatges d'estalvi energètic davant el trànsit B/M. La recepció d'aquest tipus de trànsit per part de totes les STAs de la WLAN, redueix el temps de permanència en estat de baix consum, convertint-se en el factor determinant a controlar per potenciar l'eficàcia energètica d'aquests mecanismes a la majoria d'escenaris. En la majoria de casos es tracta de trànsit *background*, és a dir, trànsit de gestió destinat a altres elements de la xarxa o una altra STA, i per tant, no es necessari que el rebin totes les STAs per un correcte funcionament.

Per determinar la tipologia i la taxa d'arribades del trànsit B/M, es va realitzar un estudi estadístic de dos subxarxes de l'EPSC, on es determina que el 99% del trànsit correspon a protocols de gestió i control, essent el protocol amb més presència l'ARP (majoritari a la subxarxa a més volum de trànsit i amb una presència del 25% en l'altra subxarxa). També s'han analitzat les xarxes sense fils *eduroam* i *eduroam-web*, on no hi ha quasi cap rastre de trànsit B/M. Aquest fet, ens ha dut a investigar les solucions de disseny d'arquitectures de xarxa que eviten la propagació del trànsit B/M. Primerament exposem el mecanisme estàndard *Proxy ARP* que ens permet reduir considerablement el trànsit de peticions ARP. Posteriorment, a partir del coneixement dels elements de xarxa *Cisco Systems*, de que disposen les xarxes *eduroam* i *eduroam-web*, i en base al seu comportament; exposem la solució propietària que permet bloquejar qualsevol trama B/M cap a les STAs associades a les WLANs controlades.

Al quart capítol, s'han presentat els resultats de les mesures empíriques. S'han identificat els processos de gestió de la mobilitat (escaneig actiu, associació, re-associació i obtenció d'adreça IPv6), el seu consum mitjà associat i també les fases de cada procés per les dues STAs escollides amb el mecanisme PSM. Les proves amb trànsit B/M, ens han permès evidenciar, amb les mateixes condicions, l'augment de consum utilitzant les modulacions de 802.11g respecte les modulacions de 802.11b. També hem determinat el comportament real de les STAs en funció del consum utilitzant peticions ARP.

Això ens ha permès constatar com diferents fabricants realitzen diferents implementacions de PSM.

Mitjançant totes les dades recollides, s'ha avaluat l'impacte dels mecanismes d'estalvi d'energia IEEE802.11, obtenint millores del 20% en la durada de la bateria, respecte a l'absència d'aquests mecanismes. A més, hem comparat el costos energètics que suposen cadascun dels processos o recepció d'una trama de gestió o una petició ARP durant un període DTIM. Els resultats determinen que processos aïllats més complexos com la re-associació o més llargs com l'escaneig actiu, estan un ordre de magnitud de consum superior respecte al cost associat de la resta de processos i comportaments associats a rebre una sola trama B/M. També es demostra com, segons el disseny de les WLANs i l'ús de certs protocols, el trànsit ARP de *background* a taxes constants moderades o altes que pot arribar a reduir la vida de la bateria gairebé a la meitat.

Pel darrer objectiu del PFC, hem desenvolupat una caracterització analítica de la recepció de trames de peticions ARP per cadascuna de les interfícies WLAN de les STAs. A partir dels comportaments observats i les energies utilitzades, definint models particulars capaços de predir el consum de les mesures empíriques per cada període de DTIM. A partir dels comportaments modelats i analitzant cada trama rebuda i l'estat de consum a cada instant durant el període DTIM, estenem els models particulars, per obtenir un model de consum general pel trànsit ARP, a partir de les especificacions de consum de qualsevol interfície WLAN. Aquest model general ens permet predir el consum i observar la diferència energètica entre STAs amb interfícies de característiques de consum diferents. Els resultats del nostre model s'han contrastat amb els d'un altre model analític de trànsit B/M, validat en base a simulacions, obtenint valors de consum molt semblants.

Finalment, definim el model de consum derivat de la gestió de la mobilitat. A partir de les mesures empíriques de consum per la STA 1. L'energia utilitzada durant els processos observats ens permet sintetitzar i extrapolar traspassos i re-associacions completes de STAs, obtenint connectivitat a nivell de xarxa. El modelat de la gestió de la mobilitat i del trànsit de peticions ARP, ens permet cloure per taxes d'arribades de peticions ARP constants, i per extrapolar a d'altres protocols B/M, aquest trànsit té un impacte en la reducció de la vida de la bateria molt més important que el derivat de la mobilitat de la STA. Aquest reforça encara més la bondat d'implementar mecanismes de reducció del trànsit B/M tal com els que hem presentat en aquest document.

Podem concloure, per tant, que s'han assolit tots els objectius marcats per aquests PFC.

## 8.2 Línies futures

L'escenari estudiat es podria enriquir mitjançant nous dispositius mòbils que implementin els mecanismes U-APSD i PSMP. Això permetria introduir al escenari QoS per identificar la reducció de consum en transmissions de video *multicast* i VoIP. També es podria afegir MIPv4 o MIPv6 per obtenir noves mesures de consum de mobilitat a nivell de 3. També, si es volgués millorar l'eficiència energètica, caldria estudiar l'impacte de mecanismes d'estalvi d'energia relatius a les capes de transport i d'aplicació i d'altres propis de 802.11 que vagin apareixen destinats, per exemple, a reduir la fase d'escaneig, una de les que consumeix més.

Per altra banda, per millorar la qualitat dels resultats empírics, caldria mesurar directament al consum relatiu a les interfícies WLAN, evitant les interferències de consum pròpies del maquinari i processos de les STAs i alienes a l'activitat de la interfície WLAN. Un tema resoldre és el cas de la STA 2, extrapolable ad'altres dispositius de característiques semblants, que no permeten l'alimentació directa. Caldria adaptar la STA, per no precisar la presència de la bateria.

A partir del consum derivat de les diferents modulacions IEEE802.11b/a/g. Es podria realitzar un estudi més exhaustiu, definir noves proves empíriques i obtenir resultats que permetin caracteritzar el cost energètic que implica el canvi de modulació. De manera que es puguin incloure al model de consum general.

Respecte al model per a trànsit de peticions ARP, caldria comprovar que és un model extrapolable per tot el trànsit B/M, adaptar el model perquè respongui a taxes altes i a la commutació del PSM a CAM, pels casos de les implementacions del PSM dinàmic. També modelar amb els paràmetres específics de consum de les interfícies WLAN i els comportaments observats, els processos de la gestió de la mobilitat.

## 8.3 Impacte mediambiental del projecte

Finalment l'impacte ambiental que implica aquest PFC, es redueix a la radiació degut a l'ús d'un rang ISM de freqüències lliures, la fabricació del dispositius utilitzats: energia i recursos per obtenir els materials i transformar-los, i l'energia elèctrica consumida durant el transcurs de les proves.

Val a dir que l'estudi dels mecanismes d'estalvi d'energia, l'anàlisi del consum i la generació d'un model, tenen un objectiu implícit relacionat amb l'eficiència energètica i el millor aprofitament dels recursos. Conèixer els comportaments i determinar el processos que ocasionen major consum, ens permet predir el temps d'ús de la interfície WLAN i establir recomanacions o certs protocols per augmentar l'autonomia dels dispositius mòbils. A la vegada que s'obté un major rendiment de la capacitat de les bateries, es redueixen els cicles de càrrega, i per tant pateixen un menor desgast de la química. Aquesta deducció es tradueix en la disminució de residus altament contaminants i dels complexes tractaments de reciclatge de bateries.





## REFERÈNCIES

- [1] IETF. *RFC 826: Ethernet Address Resolution Protocol*. IETF: Novembre, 1982. Disponible a: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc826.txt>>
- [2] IEEE Computer Society. *IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. IEEE Std 802.11<sup>TM</sup>-2007 (Revisió de IEEE Std 802.11-1999). New York: IEEE, 2007.
- [3] Pérez-Costa, X. ; Camps-Mur D.; Vidal, A. *On the Distributed Power Saving Mechanisms of Wireless LANs 802.11e U-APSD vs 802.11 Power Save Mode*. NEC Network Laboratories. Heidelberg: NEC Network Laboratories, 2006.
- [4] Sanz de la Rica Mann, J. *Estudio del consumo de baterías en dispositivos móviles IEEE 802.11: técnicas de ahorro, caracterización y evaluación*. TFC. Castelldefels: EPSC, 2008.
- [5] Giribert Peraire, J.; Madrid Villar, M. *Xarxa cel·lular de 4G basada en IPv6: desenvolupament d'un demostrador (II)*. TFC. Castelldefels: EPSC, 2009.
- [6] Jokela, J. *WLAN: Current developments and future challenges*. Nokia/Technology Platforms. Març 2007.
- [7] IEEE Computer Society. *P802.11v/D2.00: Draft standard for information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications – Amendment 9: Wireless Network Management*. Març, 2008.
- [8] Akin, D. *Power Save Multi-Poll (PSMP)*. CWNP Wireless Certification & Wireless Training, 2007.
- [9] IEEE Computer Society. *IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems--Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput. IEEE Std 802.11n-2009 (Amendment to IEEE Std 802.11-2007 as amended by IEEE Std 802.11k-2008, IEEE Std 802.11r-2008, IEEE Std 802.11y-2008, and IEEE Std 802.11w-2009) , vol., no., pp.c1-502*, New York: IEEE, Octubre 2009.
- [10] IETF. *RFC 2281: Cisco Hot Standby Router Protocol (CHRSRP)*. IETF: Març, 1998. Disponible a: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc2281.txt>>

- [11] IETF. *RFC2327: SDP: Session Description Protocol*. IETF: Abril, 1998. Disponible a: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc2327.txt>>
- [12] IETF. *RFC3927: Dynamic Configuration of IPv4 Link-Local Addresses*. IETF: Maig, 2005. Disponible a: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc3927.txt>>
- [13] Cisco Systems, Inc. *Cisco Unified Wireless Technology and Architecture i Cisco Unified Wireless Multicast Design. A: Enterprise Mobility 4.1 Design Guide* [en línia]. San Jose: Abril 14, 2009. Disponible a (Març, 2010): <<http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Enterprise/Mobility/emob41dg/emob41dg-wrapper.html>>
- [14] Cisco Systems, Inc. *Cisco IOS Software Configuration Guide for Cisco Aironet Access Points. Cisco IOS Release 12.3(8)JA*. San Jose: Febrer, 2006. Disponible a (Març, 2010): <[https://www.cisco.com/en/US/docs/wireless/access\\_point/12.3\\_8\\_JA/configuration/guide/1238jasc.html](https://www.cisco.com/en/US/docs/wireless/access_point/12.3_8_JA/configuration/guide/1238jasc.html)>
- [15] Krashinsky, R.; Balakrishnan, H. *Minimizing Energy for Wireless Web Access with Bounded Slowdown*. Proceedings of the 8th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, Setembre 2002.
- [16] He, Y.; Yuan, R.; Ma X.; Li, J. *The IEEE 802.11 Power Saving Mechanism: An Experimental Study*. in Proc. WCNC, pp.1362-1367. Las Vegas, Nevada: Abril 2008.
- [17] Gupta, A.; Mohapatra P. *Energy Consumption and Conservation in WiFi Based Phones: A Measurement-Based Study*. A Proc. SECON, 2007.
- [18] Bieringer, P. *Linux IPv6 HOWTO (en)*. The Linux Documentation Project, Desembre 2009. [Consulta: 15 febrer 2010]. Disponible a: <<http://tldp.org/HOWTO/Linux+IPv6-HOWTO/>>
- [19] IETF. *RFC 4862: IPv6 Stateless Address Autoconfiguration*. IETF: Setembre, 2007. Disponible a: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc4862.txt>>
- [20] IETF. *RFC 4429. Optimistic Duplicate Address Detection (DAD) for IPv6*. IETF: Abril, 2006. Disponible a: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc4429.txt>>
- [21] IETF. *RFC 3315: Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)*. IETF: Juliol, 2003. Disponible a: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc3315.txt>>
- [22] IETF. *RFC 4861: Neighbor Discovery for IP version 6*. IETF: Setembre, 2007. Disponible a: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc4861.txt>>
- [23] IETF. *RFC 3810: Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6*. IETF: Juny, 2004. Disponible a: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc3810.txt>>
- [24] Myers, A.; Ng, E.; Zhang, H. *Rethinking the service model: Scaling Ethernet to a million nodes*. ACM HotNets'04. San Diego: 2004.

- [25] Nedevski S.; Chandrashekar J.; Liu J.; Nordman B.; Ratnasamy S.; Taft N. *Skilled in the art of being idle: Reducing Energy Waste in Networked Systems*. USENIX NSDI'09. Boston: 2009.
- [26] Forum Nokia. *Power consumption of always-on WLAN. A: Recommendations for Reducing Power Consumption of Always-on Applications*. Version 1.0, Setembre, 2007.
- [27] Cisco Systems, Inc. *Cisco Unified Wireless IP Phone 7921G - Deployment Guide*. CISCO: 2008. Disponible a: <[http://www.cisco.com/en/US/docs/voice\\_ip\\_comm/cuipph/7921g/6\\_0/english/deployment/guide/7921dply.pdf](http://www.cisco.com/en/US/docs/voice_ip_comm/cuipph/7921g/6_0/english/deployment/guide/7921dply.pdf)>
- [28] Texas Instruments Incorporated. *Low Power Advantage of 802.11a/g vs. 802.11b - White Paper*. Desembre, 2003.
- [29] Feeney, L. M.; Nilsson M. *Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment*. Proc. IEEE INFOCOM. Abril, 2001.
- [30] Atheros communications Inc. *Power consumption and energy efficiency comparisons of wireless products*. White paper. Maig, 2003. Disponible a: <<http://www.atheros.com/pt/papers.html>>.
- [31] Balasubramanian, N.; Balasubramanian, A.; Venkataramani, A. *Energy Consumption in Mobile Phones: A Measurement Study and Implications for Network Applications*. Internet Measurement Conference'09. Chicago, Illinois: Novembre, 2009.
- [32] He Y.; Yuan, R.; Gong, W. *Modeling Power Saving Protocols for Multicast Services in 802.11 Wireless LANs*. IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 9, no. 5, pp. 657-671. Maig, 2010. Disponible a: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5210112&isnumber=5432940>>
- [33] RF Monolithics, Inc. *WSN802G: 802.11g Wireless sensor network module*. RFM: Abril, 2009. Disponible a: <[www.rfm.com/products/data/wsn802gc.pdf](http://www.rfm.com/products/data/wsn802gc.pdf)>
- [34] Balachandran, A.; Voelker, G. M.; Bahl, P.; Rangan, P. V. *Characterizing user behavior and network performance in a public wireless LAN*. A Proceedings de ACM SIGMETRICS 2002, volum 30, pp.195-205. Juny 2002.
- [35] Henderson, T.; Kotz D.; Abyzova I. *The Changing Usage of Mature Campus-wide Wireless Network*. MobiCom. A Proc. conferència Mobile computing and networking, pp. 187-201. Philadelphia: Setembre, 2004.





**Escola Politècnica Superior  
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# ANNEXOS

**TÍTOL:** Estudi del consum energètic relatiu a la gestió de la mobilitat i el trànsit broadcast i multicast en xarxes WiFi

**TITULACIÓ:** Enginyeria de Telecomunicació (segon cicle)

**AUTOR:** Ignasi Blanco Sastre

**DIRECTOR:** Rafael Vidal Ferré

**DATA:** 3 de maig del 2010



# ÍNDIX

<b>ANNEX I. METODOLOGIA DE LES MESURES EMPÍRIQUES.....</b>	<b>1</b>
<b>I.1 Descripció general l'escenari .....</b>	<b>1</b>
I.1.1 STA 1: Portàtil.....	2
I.1.2 STA 2 : Telèfon mòbil dual.....	2
<b>I.2 Mesures de les proves de consum .....</b>	<b>3</b>
I.2.1 Mesures bàsiques de la gestió de la mobilitat .....	3
I.2.2 Mesura del trànsit B/M .....	4
 <b>ANNEX II. CONFIGURACIÓ DEL MAQUINARI I PROGRAMARI UTILITZAT</b>	<b>5</b>
<b>II.1 Dispositius IEEE802.11 .....</b>	<b>5</b>
II.1.1 Punt d'accés - Cisco Aironet 1130AG .....	5
II.1.2 STA 1 – Ordinador portàtil .....	6
II.1.3 STA 2 - Telèfon mòbil dual.....	8
<b>II.2 Analitzador de potència .....</b>	<b>8</b>
II.2.1 Modes de mostratge de la senyal .....	9
II.2.2 Actualització del firmware .....	11
<b>II.3 Configuració de programari.....</b>	<b>12</b>
II.3.1 packETH .....	12
II.3.2 Wireshark .....	13





## ANNEX I. METODOLOGIA DE LES MESURES EMPÍRIQUES

Aquest projecte agafa com punt de partida les mesures de consum d'estacions mòbils que disposen de interfícies WLAN (STA's). Aquestes mesures empíriques compleixen els pilars del mètode científic; la reproductibilitat i la refutabilitat. Cal tenir en compte, que els valors de les mesures són lleugerament canviats, degut a diferències de temperatura que puguin afectar als elements de l'escenari (dispositiu de mesura, bateries), a les interferències electromagnètiques o als processos interns no controlables de les STAs. La majoria de valors de cada subapartat han estat mesurats durant el mateix dia, minimitzant les interferències cocanal i canal adjacent de les instal·lacions on s'han realitzat les proves, verificant amb analitzadors de protocols el trànsit dels canals interferents de l'espectre.

### I.1 Descripció general l'escenari

A l'escenari de proves s'han utilitzat les dos sortides d'alimentació habilitades de l'analitzador de potència Agilent (veure II.2). La sortida número 2 correspon al mòdul N6774A, connectada a l'entrada de l'alimentació externa de STA 2, i la sortida número dos correspon al mòdul N6761A, connectada a l'entrada d'alimentació externa de la STA 1. Per l'alimentació de l'AP i els commutadors s'ha utilitzat la sortida del mòdul N6774A. Per a cadascun dels dispositius s'ha definit el voltatge i la intensitat en funció de les especificacions d'alimentació. En tots els casos el voltatge es manté constant, i la intensitat de corrent varia en funció de l'activitat del dispositiu.

Les STAs han estat a una distància màxima de 2 metres de l'AP. S'ha configurat l'AP a la màxima potència de transmissió i no s'ha limitat el nivell de potència a les STAs associades.

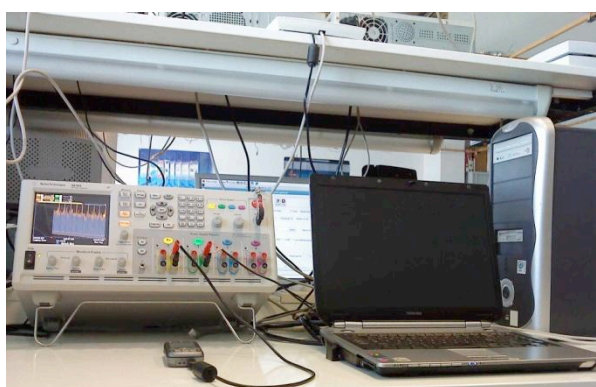


Fig. I.1 Escenari de proves

A les propietats de l'enregistrador de dades (*Data Logger*) de l'Agilent, s'ha marcat les variables de corrent dels dos mòduls disponibles. Els valors de les mesures donen la intensitat que demanen els dispositius en funció de la seva activitat. Donades les capacitats de les bateries en mil·liamperes per hora, definirem el consum a totes les nostres proves com la intensitat mitjana en mil·liamperes o amperes. L'enregistrament d'un sol paràmetre ens permet

utilitzar el mode de mostratge continu (veure II.2.1.1), escollint el període de mostra a 0,1 ms.

Els períodes d'observació i configuracions específiques d'alimentació han estat determinats en funció de la STA. A continuació es detallen les dues STAs utilitzades.

### I.1.1 STA 1: Portàtil

La STA 1 permet a través de l'alimentació externa funcionar sense bateria. Assignant el mateix voltatge a la sortida de l'analitzador de potència que ofereix la bateria original (10,8 V), s'obtenen els mateixos valors de consum. Sabent la seva capacitat, podem calcular l'impacte real de les proves realitzades sobre la vida de la bateria. Tot i que les interfícies WLAN utilitzades durant les proves (WUSB600N de Linksys o Aironet 350), s'alimenten del voltatge proporcionat pel connector USB de 5V.

Per determinar el consum base de la STA 1, es manté en **estat operatiu sense activitat**. És a dir, càrrega mitjana de processos en cua del sistema a curt termini (l'últim minut) inferior a 0,05, ús del processador inferior al 2%, intensitat lluminosa màxima de la pantalla, les interfícies sense fils internes (WLAN i Bluetooth) desactivades i ús de la interfície de línia de comandes.

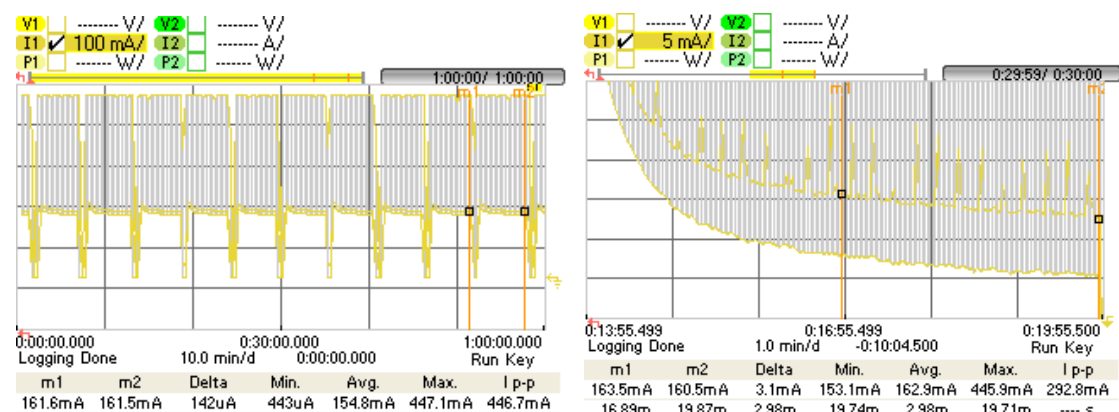
### I.1.2 STA 2 : Telèfon mòbil dual

La STA 2 no permet funcionar sense la bateria. Per poder observar la variació de corrent, cal alimentar la STA 2 al voltatge especificat al carregador de la bateria (5 V). Degut aquesta limitació, els valors de intensitat de corrent total obtinguts representen el corrent de càrrega de la bateria (a continuació exposem les característiques). Tenint present això, les variacions observades de la intensitat de corrent, són relatives a l'activitat de la interfície WLAN. Tot i això, segons l'estudi empíric [17], els valors corresponents a la interfície WLAN que s'obtenen amb aquest voltatge, són lleugerament inferiors als que s'obtindrien alimentant amb el voltatge que proporciona la bateria (3,7 V). Per tant, si bé les variacions del consum sí són representatives pel nostre estudi, els valors totals de les mesures de consum de la STA 2, no proporcionen una visió real del consum donat que la corrent de càrrega és molt superior a la del funcionament sols amb bateria. No disposem del *datasheet* de la interfícies WLAN, per tant assumim l'alimentació d'aquesta, és també de 5 V.

Per determinar el consum base de la STA 2, es manté en **estat operatiu sense activitat**. Estat inicial sense cap aplicació executant-se, interfícies de xarxes mòbils (HSDPA/UMTS i GSM/GPRS/EDGE) desactivades, interfícies sense fils (WLAN i Bluetooth) desactivades, lluminositat màxima de la pantalla.

Durant les proves es desactiva qualsevol estalvi d'energia del dispositiu no relacionat amb els mecanismes d'estalvi d'energia IEEE802.11. Estabilitzant el consum i poder aïllar així, variacions de corrent derivades de l'activitat de la interfície WLAN respecte el consum base del terminal.

Si es manté l'alimentació externa, hem observat a l'analitzador de potència (veure Fig. I.2), cicles d'alimentació d'entre 5,5 minuts a 8 minuts, on durant 30 segons la STA 1 obté l'alimentació de la bateria i els minuts restants de l'alimentació externa. Tal com mostra la Fig. I.2a, aquest comportament provoca cicles de càrrega i descàrrega de la bateria que limiten la continuïtat del període de mesura i provoquen una desviació significativa dels valors de consum mitjà per un període d'observació similar al de la STA 1.



Per mesurar els valors de corrent mitjà, atès el detall de la càrrega que mostra la Fig. I.2b, obtenim les mesures de consum dels últims tres minuts del cicle, definint l'interval com a zona de mesura. Associat a un AP i sense activat o amb activitat constant, observem que la pendent negativa de la intensitat de corrent entre els dos punts de mesura (delimitats pels marcadors), el valor mitjà és inferior a 1 mA/min. Acceptem aquest error de mesura per donar els resultats de les proves de consum mitjà.

## I.2 Mesures de les proves de consum

### I.2.1 Mesures bàsiques de la gestió de la mobilitat

Observant el consum base de les STAs, associades amb el PSM activat, i comprovant l'absència de transmissió de dades entre les STAs i l'AP, amb un analitzador de protocols. Determinem els períodes d'estat adormit i estat despert a partir de la representació periòdica de la intensitat de corrent (veure la mostra de la Fig. I.3). Calculem el consum mitjà dels estats de consum i d'un *beacon* delimitant els períodes amb els marcadors del *Data Logger*, a partir de 20 mostres. Anàlogament i identificant les transmissions de trames de gestió amb l'analitzador de protocols, obtenim el consum mitjà dels processos i les seves fases, a partir de 10 mostres de cada procés. (en el cas de la STA 1, les mostres pertanyen a la zona de mesura).

Les comparacions dels valors de consum de les dos STAs es donen en mil·liamperes, per mantenir les unitats i el voltatge ambdós casos es manté constant a 5 V.

## I.2.2 Mesura del trànsit B/M

La metodologia de les mesures de consum de les STAs, derivat del trànsit B/M a la xarxa sense fils, varia en funció de la tipologia de trànsit i l'objectiu de la prova.

Per la mesura de trànsit *broadcast* amb el protocol ARP, tal com es descriu a (4.3.1), inicialment observem el comportament de les interfícies de les STAs, durant la recepció d'una petició ARP a cada període DTIM de 3 intervals de *beacon*, de 100 ms cada interval. Per identificar l'augment de intensitat de corrent al *beacon* corresponent, com es pot apreciar a la Fig. I.3 per la STA 2. Hem generat la petició ARP, amb l'aplicació *packETH* (veure annex II), destinada a l'adreça MAC FF:FF:FF:FF:FF:FF<sup>1</sup>, amb el contingut de la petició per la IP de la STA i una altra petició per una IP no coincident amb les adreces IP assignades a les STAs. Hem mesurat 10 mostres del consum, el temps mitjà del *beacon* amb DTIM i el temps mitjà de permanència a l'estat adormit posterior a la recepció d'aquest *beacon*. Els resultats obtinguts són la mitjana de les mostres per taxes de 1, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 30, 40, 60, 75 i 100 peticions ARP per període DTIM. Les mostres de les mesures corresponent al mateix instant per cadascuna de les STAs, i dins la zona de mesura de la STA 2.

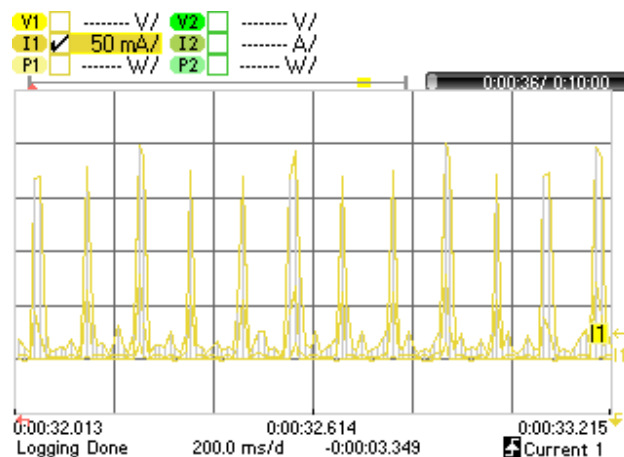


Fig. I.3 Període de DTIM de la STA 2

Per mesurar el consum de trànsit *multicast*, en funció de la velocitat física i la modulació, hem realitzat les proves només a la STA 1 (degut a les limitacions del temps de la zona de mesura de la STA 2). El període d'observació de consum mitjà són de 10 minuts. S'ha evitat incloure als resultats augments sobtats de la intensitat deguts a l'activitat de maquinari concret de la STA 1 (ventilador, pantalla, teclat, ...) o processos aliens a l'activitat de la interfície WLAN de la STA.

La trama generada amb l'aplicació *packETH* (Annex II) es destina a l'adreça MAC 01:00:5e:00:00:01<sup>2</sup> al grup 239.255.1.1<sup>3</sup> mitjançant el protocol de transport UDP i una MSDU de 250 bytes.

<sup>1</sup> Adreça reservada per Internet Assigned Numbers Authority (IANA) a trames *broadcast*.

<sup>2</sup> Pertany al rang d'adreces reservades a trames *multicast* per IANA.

<sup>3</sup> IP del rang de classe D, reservat per a *multicast*

## ANNEX II. CONFIGURACIÓ DEL MAQUINARI I PROGRAMARI UTILITZAT

En aquest capítol de l'annex es recopilen el maquinari i programari utilitzats durant les proves empíriques d'aquest PFC, exposant les característiques principals de cada dispositiu o programa. Per obtenir informació més detallada de les especificacions es poden accedir als manuals oficials de configuració o als annexos del TFC [3].

A la Fig. I.1 de l'Annex I es pot observar l'escenari de proves general, que està format pels dispositius IEEE802.11: punt d'accés Cisco, portàtil amb les interfícies WLAN *Linksys* i Cisco i el telèfon mòbil. I finalment el dispositiu de mesura, l'analitzador de potència Agilent i estacions de treball.

### II.1 Dispositius IEEE802.11

#### II.1.1 Punt d'accés - Cisco Aironet 1130AG



**Fig. II.1** Cisco Aironet 1130AG

**Taula II.1** Característiques de l'AP Cisco Aironet 1131 AG

Ítem	Especificació
Fabricant - Model	AP Cisco Aironet - 1131 AG
Sistema operatiu	IOS 12.4(10b)JA
Estàndard de xarxa	IEEE802.11 a/g/b/e WEP, WPA/WPA2

**Font:** Cisco Systems. *Cisco Aironet 1130AG Series Access Point Hardware Installation Guide*. San Jose (USA): Abril, 2005. Disponible a:

<[http://www.ciscosystems.com/en/US/docs/wireless/access\\_point/1130/installation/guide/1130-TD-Book Wrapper.html](http://www.ciscosystems.com/en/US/docs/wireless/access_point/1130/installation/guide/1130-TD-Book Wrapper.html)>

### II.1.2 STA 1 – Ordinador portàtil



**Fig. II.2** HP-Compaq M30

**Taula II.2** Característiques del portàtil

Ítem	Especificació
Fabricant - Model	HP-Compaq - M30
CPU	Intel Pentium M 730 1,60 GHz
Sistema Operatiu - Kernel	Linux <i>Wifislax 3.1</i> - 2.6.21.5
Bateria	10,8 V DC - 55Wh (5093 mAh)

#### II.1.2.1 Interfície de xarxa sense fils - Linksys



**Fig. II.3** Interfície de xarxa sense fils USB Linksys WUSB600N

**Taula II.3** Característiques de la interfície 1 WLAN de la STA 1

Ítem	Especificació
Fabricant - Model	Linksys - WUSB600N
Chipset	Ralink
Driver	RT2870 Linux v. 2.3.0.0
Estàndard de xarxa	IEEE802.11a/b/g/e/n WEP, WPA/WPA2, EAP

Ralink Tech. és el fabricant del chipset i té drivers per Linux disponibles a:  
<<http://www.ralinktech.com/support.php?s=2>>

Un conjunt d'eines anomenades *Wireless Tools*, ens permeten manipular les *Wireless Extensions*; unes APIs genèriques per configurar paràmetres de la interfície i obtenir estadístiques, mitjançant el *driver* apropiat.

- **iwconfig** manipular els paràmetres bàsics de la xarxa sense fils.
- **iwlist** permet iniciar l'escaneig i llistar les freqüències.
- **iwspy** permet obtenir la qualitat de l'enllaç per node.
- **iwpriv** permet manipular les Wireless Extensions específiques d'un *driver*.
- **ifrename** permet anomenar les interfícies

Per activar la configuració del PSM, a la interfície WUSB600N (ra0):

```
#iwpriv ra0 set PSMode={CAM;FAST_PSP;MAXPSP}
```

Establint el període o el temps de les STA's amb valors naturals o segons, que indiquen fins quan romandrà en estat adormit.

```
#iwconfig ra0 power period (beacons) [Intervals entre beacons]
#iwconfig ra0 power timeout (segons,m mil·lisegons, u microsegons)
```

### II.1.2.2 Interfície de xarxa sense fils – Cisco



**Fig. II.4** Interfície de xarxa sense fils Cisco Aironet 350

Les comandes utilitzades per l'anterior interfície són vàlides per aquesta. El nom habitual per la Aironet 350, és *wlan0*, i el mode d'estalvi d'energia PSM, s'activa amb la següent comanda.

```
#iwconfig ra0 power on
```

**Taula II.4** Característiques de l'interfície 2 WLAN de la STA 1

Ítem	Especificació
Fabricant - Model	Cisco - Aironet 350
Chipset	Aironet
Driver	Aironet driver
Estàndard de xarxa	IEEE 802.11a, 802.11b, and 802.11g



### II.1.3 STA 2 - Telèfon mòbil dual



Fig. II.5 HTC S730

Taula II.5 Característiques del telèfon mòbil dual

Ítem	Especificació
Fabricant - Model	HTC - S730
CPU	Qualcomm® MSM7200™ 400MHz
Sistema Operatiu	Microsoft® Windows Mobile® 6 Standard
Bateria - Alimentació	3,7 V DC - 1050 mAh
Estàndard de xarxa IEEE	IEEE802.11b/g, WEP, WPA/WPA2
Interfícies	WLAN, HSDPA/UMTS/GSM/GPRS/EDGE, Bluetooth

Per activar el mode d'estalvi d'energia, cal accedir al menu de la gestió de les interfície *Inicio > Comm Manager*. Escollir a configuracions *Configuración de WLAN*. Accedir al menú de la WLAN, i a la opció d'estalvi d'energia, escollir *Máximo ahorro*.

## II.2 Analitzador de potència

L'analitzador de potència Agilent N6705A és un sistema que combina les capacitats d'anàlisi i captura de dades d'un oscil·loscopi amb un generador d'alimentació elèctrica multisortida. L'equip utilitzat disposa de dos mòduls de potència diferents, depenent de les necessitats de l'escenari de proves i els paràmetres de tensió o d'intensitat dels equips a mesurar, s'utilitza el mòdul de precisió N6761A per a la regió dels mil·liamperes i microamperes (fins a 1,5 A) o el mòdul d'alt rendiment N6774A (fins a 8,5 A).



**Fig. II.6** Analitzador de potència Agilent N6705A

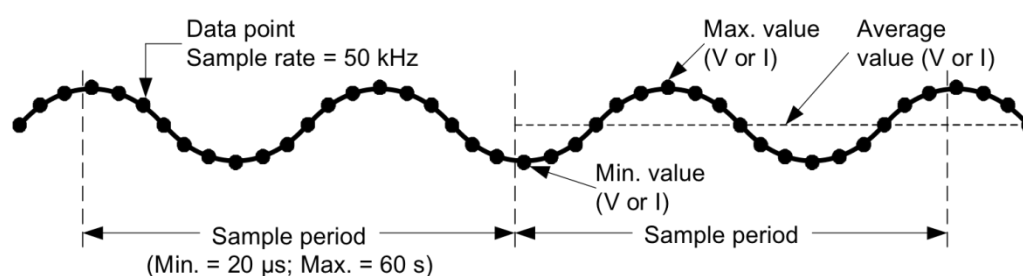
Aquest apartat estén el *Manual de Configuració de l'analitzador de potència Agilent N6705A*, a l'annex 4 de [3]. Es descriu la configuració específica de l'analitzador de potència per realitzar les mesures empíriques en aquest projecte.

### II.2.1 Modes de mostratge de la senyal

L'analitzador de potència Agilent N6705A facilita dos modes de mostratge de dades.

#### II.2.1.1 Mode de mostratge continu (predeterminat)

A la Fig. II.7 s'observa l'esquema de mostratge en mode continu. La potència es calcula instantàniament a partir de les mostres continues de voltatge i de intensitat.



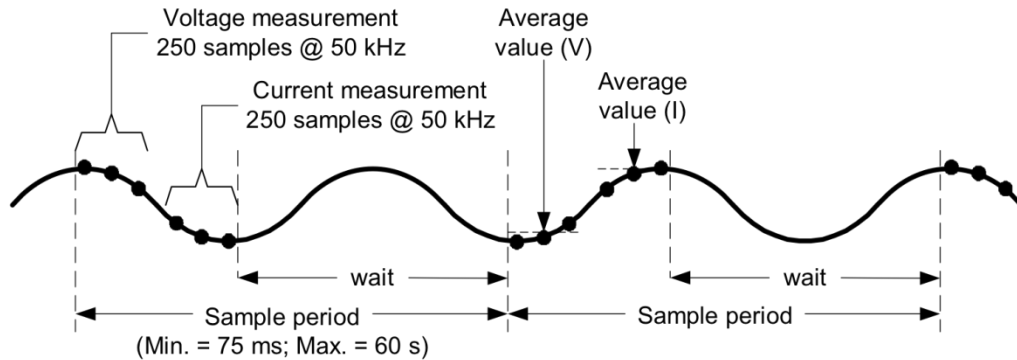
**FONT:** Agilent Technologies. *DC Power Analyzer - Model N6705A*. Malàisia: Juny, 2009.

**Fig. II.7** Mostratge continu

Només el mòdul N6761A, permet obtenir mostres continues (temps mínim entre mostres 20μs) de voltatge, intensitat de corrent i potència. El mòdul N6774A, només permet el mostratge continu pel voltatge i la intensitat de corrent.

### II.2.1.2 Mode estàndard (intercal·lat)

A la Fig. II.8 s'observa l'esquema de mostratge en mode estàndard. La potència es calcula a partir de les mesures interpolades de voltatge i intensitat de corrent.



FONT: Agilent Technologies. *DC Power Analyzer - Model N6705A*. Malàisia: Juny, 2009.

**Fig. II.8** Mostratge estàndard

Cada mesura és el mostratge dels 5 primers mil·lisegons del període de mostra, tant pel voltatge com per la intensitat de corrent.

A la Fig. II.9 es mostra el menú de propietats del *Data Logger*. A la secció superior es permet a la part superior seleccionar la magnitud a mesurar en els dos mòduls. Indicant a continuació el mode de mostratge disponible per la combinació de magnituds marcades. A la secció inferior es determina la durada de la captura i el període de mostratge.

El menú 'Data Logger Properties' està dividit en dues seccions principals: 'Display trace' i 'Logging'.  
 - A la secció 'Display trace', hi ha dos mòduls numerats 1 i 2. El mòdul 1 té les opcions 'Voltage' (desseleccionada), 'Current' (seleccionada) i 'Power' (desseleccionada). El mòdul 2 té 'Voltage' (desseleccionada), 'Current' (desseleccionada) i 'Power' (desseleccionada). A sota hi ha un botó 'Range...' i el text 'Continuously-sampled (Min/Max available)'.  
 - A la secció 'Logging', hi ha camps per 'Duration' (0 h, 0 m, 30 s) i 'Sample Period' (0.04 ms). També hi ha una casella 'Log Min/Max' (desseleccionada) i un text 'Resulting file size = 2.79 Mbytes'. A la dreta hi ha un botó 'Trigger...'.  
 - A la base del menú hi ha botons per 'File Name...', 'Marker...', 'Preset' i un botó 'Close' a la dreta.

**Fig. II.9** Propietats de la mostra i registre de dades.

## II.2.2 Actualització del firmware

A partir de la versió C.00.09 del *firmware* del Agilent The DC Power Analyzer, permet reduir el temps del període de mostratge a valors inferiors a 1 mil·lisegon i fins a 20.48 microsegons. Aquesta actualització ha estat necessària per obtenir una major resolució de les mesures de consum de processos on intervenen transmissions i recepcions de trames de pocs mil·lisegons.

Per obtenir l'actualització del *firmware*, cal descarregar-se'l de la pàgina *web*: <http://www.agilent.com/find/N6705firmware> a una memòria externa USB.

Des del menu principal, seleccionar el menu de utilitats i d'aquest accedir a d'eines administratives on et permet entrar a la pantalla d'actualització del *firmware*, des d'on es pot carregar. A la Fig. II.10 es mostra la seqüència de pantalles per accedir al menu de càrrega del *firmware*. Sols cal indicar la ubicació del fitxer a la memòria USB i seleccionar la opció *Install firmware*. Finalment apareixerà un missatge que comunica que s'ha activat el nou *firmware* i un botó per reiniciar l'analitzador.

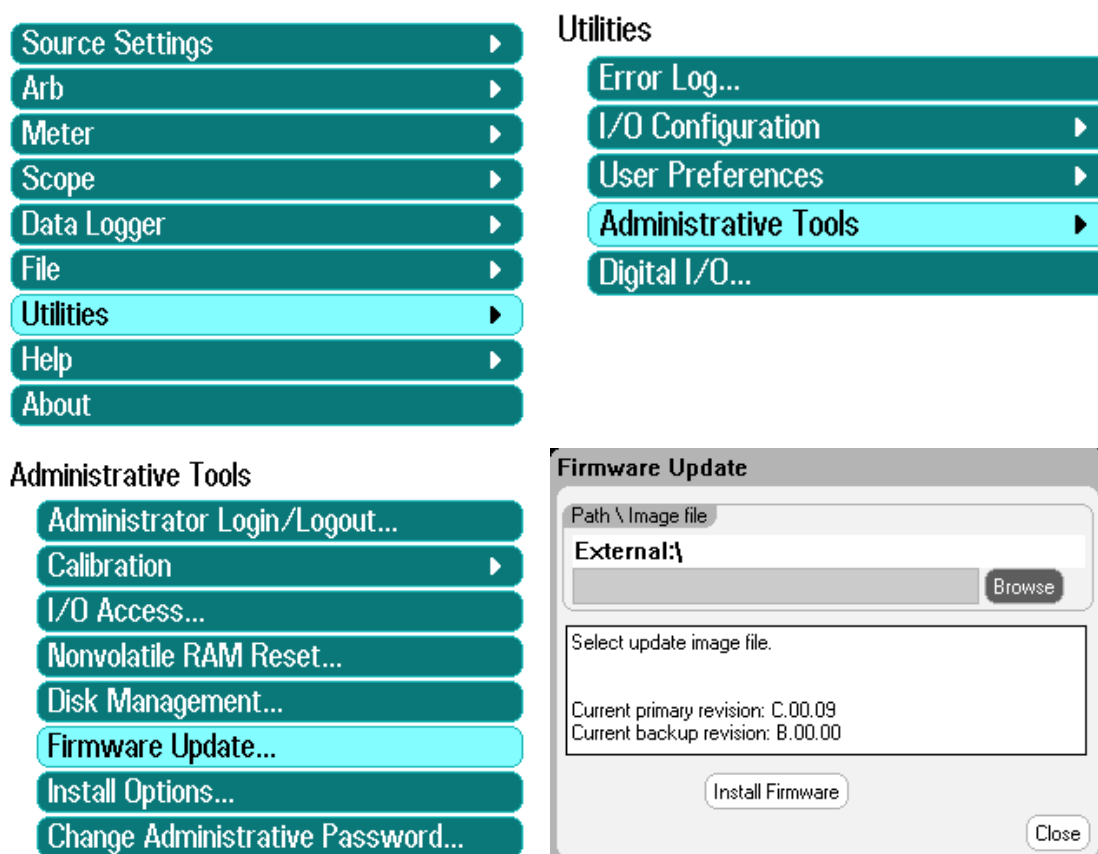


Fig. II.10 Seqüència d'actualització del *firmware* de l'analitzador de potència

## II.3 Configuració de programari

### II.3.1 packETH

Alternativa als programaris de generació de trànsit Iperf i MGEN, disponible per a Linux també sota llicència general pública (GPLv2) GNU. Permet crear i enviar qualsevol paquet o seqüència de paquets sobre Ethernet. Permet escollir i modificar les següents capçaleres.

- ethernet II, ethernet 802.3, 802.1q, QinQ
- ARP, IPv4, IPv6, l'usuari defineix el *payload* del nivell de xarxa.
- UDP, TCP, ICMP, IGMP, l'usuari defineix el *payload*.
- RTP (*payload* amb opcions per G.711)

A la Fig. II.11 es mostren la captura de pantalla de construcció, amb les opcions i camps per generar un paquet. A la primera secció es defineixen les capçaleres del nivell d'enllaç i a la secció inferior les capçaleres i *payload* del nivell de xarxa. Aquest paquet pot ser guardada per posteriorment ser carregada o enviada.

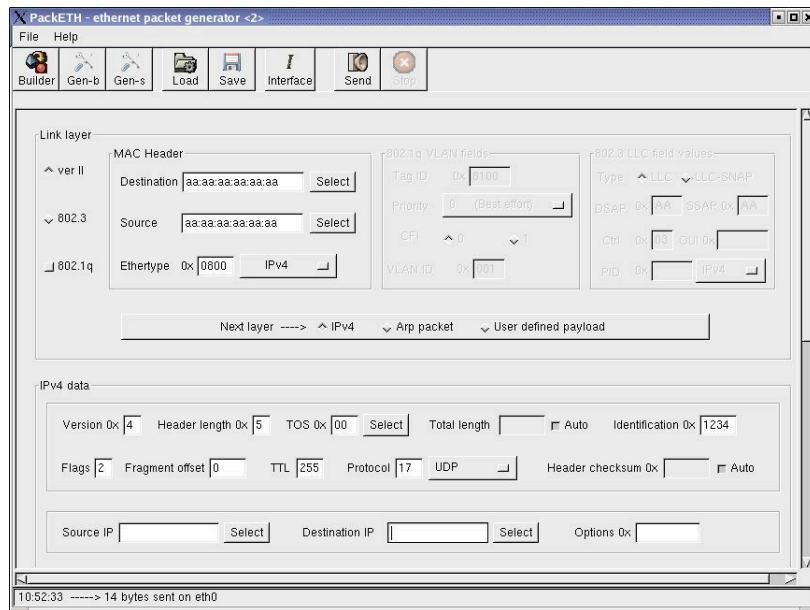
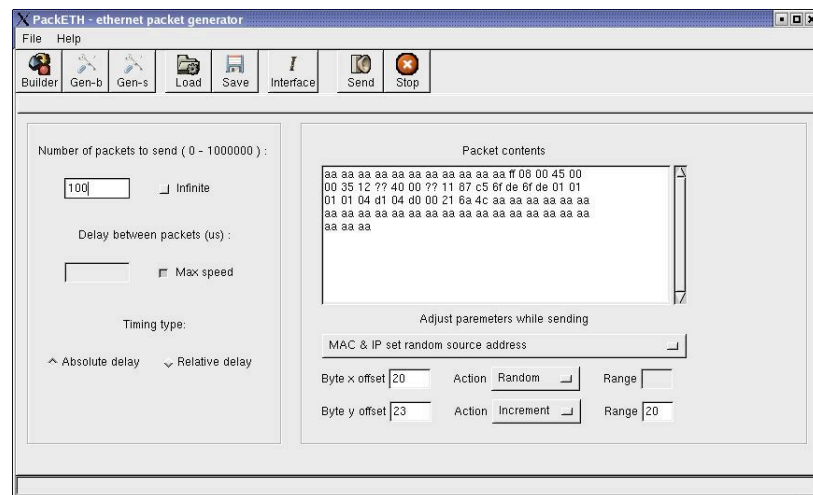


Fig. II.11 Generació del paquet

A la Fig. II.12 correspon a la pantalla de generació de trànsit de paquets creats o carregats a partir de la pantalla anterior de construcció. A la secció de l'esquerra et permet escollir el nombre de paquets a transmetre i el temps entre paquet (absolut o relatiu). I a la secció de la dreta es mostra el contingut (en hexadecimal) del paquet.



**Fig. II.12** Pantalla per definir la taxa i nombre de paquets a transmetre

### II.3.2 Wireshark

Aquesta aplicació d'anàlisi de protocols permet el monitoratge del trànsit que es transmet en una xarxa, mitjançant una de les interfícies de l'estació en què s'executa.

A l'escenari de proves s'ha instal·lat i configurat per a capturar a un portàtil MacBook3,1 (SO: Mac OS X 10.5.8; CPU: 2,2GHz; RAM: 2 GB) amb la interfície WLAN AirPort Extreme (chipset Broadcom BCM43xx).

A la versió 1.3.0 i inferiors per Mac OS X, cal donar permisos al filtre de paquets amb la següent comanda.

```
#chmod 755 /dev/bpf0
```

I en els casos que la prova ho demani, seleccionar el canal de monitoratge. Amb la següent comanda.

```
#airport -c X
```

on X és el canal del 1 al 13.

Automàticament al capturar amb *Wireshark* la interfície WLAN passa a mode monitor. I per capturar les capçaleres cal seleccionar la opció a la capçalera de la capa d'enllaç: 802.11 més AVS informació de les capçaleres radio.